



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

***DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MENGGUNAKAN  
ALGORITMA OPTIMASI CUCKOO***

**Ahmad Qodri Nugroho**  
**NRP 2213106046**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**  
**Ir. Arif Musthofa, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TE 141599

***DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH USING CUCKOO  
SEARCH ALGORITHM***

**Ahmad Qodri Nugroho  
NRP 2213106046**

**Advisor  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Ir. Arif Musthofa, MT.**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

**DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MENGGUNAKAN  
ALGORITMA OPTIMASI CUCKOO**


**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

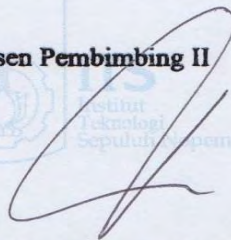
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

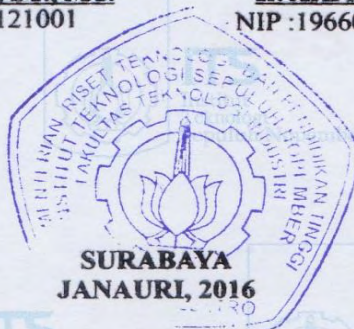


**Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**  
NIP : 197411292000121001

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Arif Musthofa, MT.**  
NIP : 196608111992031004



## ABSTRAK

### ***Dynamic Economic Dispatch Menggunakan Algoritma Optimasi Cuckoo***

Ahmad Qodri Nugroho  
2213106046

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Arif Musthofa, MT.

#### **Abstrak**

ED (*Economic Dispatch*) digunakan untuk mencapai pembangkitan listrik yang efisien. ED (*Economic Dispatch*) merupakan pembagian pembebanan tiap pembangkit listrik sehingga diperoleh kombinasi daya pembangkitan dengan biaya yang paling murah dengan tetap memenuhi permintaan beban. Dengan berubah-ubahnya permintaan beban, unit pembangkit harus menyesuaikan dengan cara menaikkan atau menurunkan daya yang dibangkitkan. Dalam menaikkan atau menurunkan daya yang dibangkitkan perlu memperhatikan *constrain ramp rate*. DED (*Dynamic Economic Dispatch*) merupakan pengembangan dari ED konvensional dimana dalam menentukan pembagian pembebanan pada unit pembangkit memperhitungkan *constrain ramp rate* dari tiap unit pembangkit. Pada Tugas Akhir ini akan digunakan *Cuckoo Search Algorithm* untuk menyelesaikan ED konvensional dan DED. Simulasi menggunakan 10 unit generator dalam 10 interval waktu. Hasilnya *Cuckoo Search Algorithm* dapat menyelesaikan ED konvensional dan DED. Dengan membandingkan hasil total biaya pembangkitan ED konvensional dan DED menunjukkan bahwa biaya pembangkitan DED lebih mahal dibandingkan dengan total biaya pembangkitan ED konvensional. Hal ini terjadi karena dipengaruhi adanya *constrain ramp rate* pada DED.

**Kata Kunci:** *Economic Dispatch, Dynamic Economic Dispatch, Ramp Rate, Cuckoo Search Algorithm, Levy Flight*





***-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-***

## ABSTRACT

### *Dynamic Economic Dispatch Using Cuckoo Search Algorithm*

Ahmad Qodri Nugroho  
2213106046

Advisor 1 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Advisor 2 : Ir. Arif Musthofa, MT.

### **Abstrack**

ED used for efficient power generation. ED is a method for power split each generator, therefore we can get the power combination with the minimum cost generation. There is fluctuation in load demand so each generator unit must be increase or decrease the power generation. Power generation changing must be suitable with the ramp rate constrain, so we need DED (Dynamic Economic Dispatch). DED same with ED but in DED used ramp rate constrain to get the power combination. This final project used Cuckoo Search Algorithm to solve the ED problem and DED problem. The simulation used 10 generator unit in 10 time interval. The result Cuckoo Search Algorithm can solving the ED problem and DED problem. Total cost generation DED is more expensive than total cost generation in ED, it happen because effect from ramp rate constrain in DED.

**Key word: Economic Dispatch, Dynamic Economic Dispatch, Cuckoo Search, Levy flight, ramp rate.**



***-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-***



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *subhanahu wata'ala*, karena hanya berkat pertolongan dan rahmat Allah semata penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

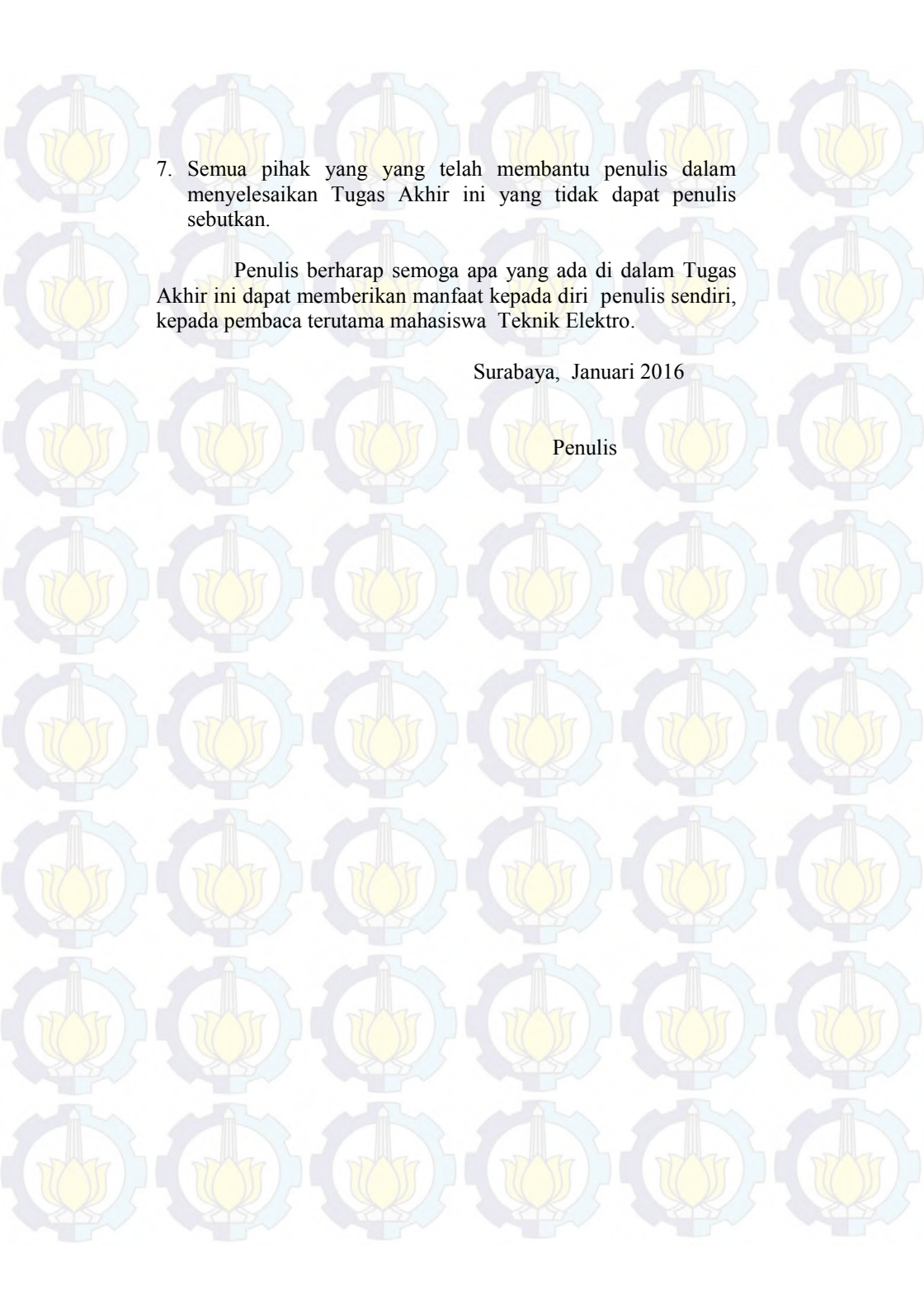
### ***Dynamic Economic Dispatch Menggunakan Algoritma Optimasi Cuckoo***

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada bidang studi teknik sistem tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah memberi bantuan, dukungan dan doa dalam menyelesaikan Tugas Akhir, terutama kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Somari (Alm.) dan Ibu Eko Bayuwati yang telah memberikan doa restu,, inspirasi, dukungan, bimbingan,nasehat dan motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST. MT. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, waktu, kritik, saran dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Arif Musthofa, MT. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan,koreksi kritik dan saran kepada penulis pada proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS dan seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro ITS, yang telah memberikan bimbingan, ilmu pengetahuan dan inspirasi selama melaksanakan studi.
5. Seluruh staff dan kariawan Jurusan Teknik Elektro ITS yang telah memberikan bantuan administrasi.
6. Teman-teman Teknik Elektro Lintas Jalur Periode Genap 2013 ITS , teman-teman sharing dan diskusi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.



- 
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan.

Penulis berharap semoga apa yang ada di dalam Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada diri penulis sendiri, kepada pembaca terutama mahasiswa Teknik Elektro.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Permasalahan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metode Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
1.7. Relevansi .....	5
 <b>BAB 2 DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH</b>	
2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.1.1 Generator .....	7
2.1.2 Transmisi dan Subtransmisi .....	8
2.1.3 Distribusi .....	8
2.1.4 Beban .....	8
2.2. Karakteristik Unit Pembangkit .....	9
2.2.1. Karakteristik Unit Pembangkit <i>Thermal</i> .....	10
2.3. <i>Economic Dispatch</i> .....	11
2.4. <i>Dynamic Economic Dispatch</i> .....	13
2.5. <i>Cuckoo Search Algorithm</i> .....	14
2.5.1 Burung Cuckoo Saat Berkembang Biak .....	14
2.5.2 Random Walks dan Lévy Flight .....	15
2.5.3 <i>Cuckoo Search</i> .....	15
 <b>BAB 3 DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MENGGUNAKAN             CUCKOO SEARCH ALGORITHM</b>	
3.1. <i>Cuckoo Search Algorithm</i> untuk Dynamic Economic Dispatch .....	19

3.2 Parameter pada <i>Cuckoo Search Algorithm</i> .....	19
3.3 Inisialisasi <i>Constrain Dynamic Economic Dispatch</i> .....	20
3.3.1 <i>Generating Capacity</i> .....	20
3.3.2 <i>Power Balance</i> .....	20
3.3.3 <i>Ramp Rate</i> .....	21
3.4 Simulasi <i>Cuckoo Search Algorithm</i> pada <i>Dynamic Economic Dispatch</i> .....	21
3.4.1 Proses Pencarian Sarang .....	21
3.4.2 Perhitungan Biaya Pembangkitan .....	22
3.4.3 Pemilihan Sarang Terbaik .....	22
3.4.4 Hasil .....	23
3.5 Flowchart DED Menggunakan <i>Cuckoo Search Algorithm</i> .....	24

## **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS**

4.1. Validasi .....	25
4.1.1 Hasil Validasi .....	26
4.1.2 Analisa Hasil Validasi .....	26
4.2. Data Pembangkit .....	27
4.3. Simulasi Menggunakan <i>Cuckoo Search Algorithm</i> .....	29
4.3.1 Hasil Simulasi pada <i>Economic Dispatch</i> Konvensional .....	30
4.3.2 Hasil Simulasi pada <i>Dynamic Economic Dispatch</i> .....	32
4.4. Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit .....	34
4.4.1 Hasil pada ED Konvensional .....	34
4.4.2 Hasil pada <i>Dynamic Economic Dispatch</i> .....	37
4.5 Hasil Peramalan <i>Cuckoo Search Algorithm</i> .....	39

## **BAB 5 PENUTUP**

5.1. Kesimpulan .....	41
5.2. Saran .....	41

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	43
<b>LAMPIRAN</b> .....	45



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik Secara Umum .....	7
Gambar 2.2 Karakteristik Input Output Pembangkit Thermal .....	11
Gambar 2.3 <i>Lévy Flight</i> Dengan 50 Langkah Berurutan Dengan Langkah Awal.....	15
Gambar 3.1 Flowchart DED menggunakan <i>Cuckoo Search Algorithm</i> .....	24



*-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Fungsi Biaya Pembangkitan <i>Example 3A</i> [5] .....	25
Tabel 4.2 Pembangkitan Maximum dan Pembangkitan Minimum <i>Example 3A</i> [5] .....	25
Tabel 4.3 Hasil Validasi Program Kasus <i>Example 3A</i> .....	26
Tabel 4.4 Hasil <i>Example 3A</i> dan Hasil Validasi Program .....	26
Tabel 4.5 Fungsi Biaya Pembangkitan.....	27
Tabel 4.6 Batas Pembangkitan Maksimum dan Minimum .....	28
Tabel 4.7 Batasan <i>Ramp Rate</i> Tiap Unit Pembangkit .....	28
Tabel 4.8 Data Permintaan Beban.....	29
Tabel 4.9 Hasil Simulasi pada ED Konvensional .....	30
Tabel 4.10 Hasil Pembangkitan Jam ke-1 Sampai Jam ke-4.....	30
Tabel 4.11 Hasil Pembangkitan Jam ke-5 Sampai Jam ke-8.....	31
Tabel 4.12 Hasil Pembangkitan pada Jam ke-9 dan Jam ke-10 .....	31
Tabel 4.13 Hasil Simulasi pada DED.....	32
Tabel 4.14 Hasil Pembangkitan Jam ke-1 Sampai Jam ke-4.....	33
Tabel 4.15 Hasil Pembangkitan Jam ke-5 Sampai Jam ke-8.....	33
Tabel 4.16 Hasil Pembangkitan Jam ke-9 dan Jam ke-10.....	34
Tabel 4.17 Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-1 sampai Jam ke-4 .....	34
Tabel 4.18 Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7 .....	35
Tabel 4.19 Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-7 sampai Jam ke-10 .....	36
Tabel 4.20 Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-1 sampai Jam ke-4 .....	37
Tabel 4.21 Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7 .....	38
Tabel 4.22 Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7 .....	38
Tabel 4.23 Hasil Peramalan <i>Cuckoo Search Algorithm</i> pada ED dan DED.....	39





*-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini tenaga listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting, semakin hari permintaan beban semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin bertambahnya jumlah penduduk yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan seperti industri, perumahan dan komersil.

Dengan terus meningkatnya permintaan beban ditambah semakin mahalnya bahan bakar untuk membangkitkan tenaga listrik, maka produsen listrik dituntut untuk dapat mengatur pembangkitan listrik secara efisien. Pembangkitan yang efisien adalah pembangkitan yang tetap memenuhi permintaan beban dengan biaya pembangkitan paling minimal. Dengan mengatur pembangkitan secara efisien maka permintaan beban akan tetap terpenuhi dan produsen listrik tidak mengalami kerugian dalam memproduksi listrik.

ED (*Economic Dispatch*) merupakan pembagian pembebanan tiap pembangkit listrik sehingga diperoleh kombinasi daya pembangkitan dengan biaya yang paling murah dengan tetap memenuhi permintaan beban. ED (*Economic Dispatch*) digunakan untuk mencapai pembangkitan listrik yang efisien.

Dalam sistem tenaga listrik permintaan beban terus berubah-ubah. Dengan berubah-ubahnya permintaan beban ini, unit pembangkit harus menyesuaikan dengan cara menaikkan atau menurunkan daya yang dibangkitkan. Dalam menaikkan atau menurunkan daya yang dibangkitkan perlu memperhatikan *constrain ramp-rate*. *Ramp-rate* merupakan batas laju perubahan daya output pada unit pembangkit. Dengan adanya *constrain ramp-rate* pembagian pembebanan unit pembangkit pada suatu interval waktu akan mempengaruhi pembagian pembebanan pada interval waktu berikutnya.

DED (*Dynamic Economic Dispatch*) merupakan pengembangan dari ED dimana dalam menentukan pembagian pembebanan pada unit pembangkit memperhitungkan *constrain ramp rate* dari tiap unit pembangkit. Pada Tugas Akhir ini akan



dibahas penyelesaian *Dynamic Economic Dispatch* menggunakan metode *Cuckoo Search Algorithm*.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat program penjadwalan ekonomis pembangkit yang dinamis dengan memperhitungkan *constrain ramp rate* menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*.
2. Menentukan penjadwalan ekonomis pembangkit yang dinamis dengan memperhitungkan *constrain ramp rate*.
3. Mengetahui pengaruh dari *constrain ramp rate* terhadap daya terbangkit dan biaya pembangkitan.

## 1.3 Permasalahan

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana membuat program penjadwalan ekonomis pembangkit yang dinamis dengan memperhitungkan *constrain ramp rate* menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*.
2. Bagaimana menentukan penjadwalan ekonomis pembangkit yang dinamis dengan memperhitungkan *constrain ramp rate*.
3. Bagaimana pengaruh dari *constrain ramp rate* terhadap daya terbangkit dan biaya pembangkitan.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab
2. Rugi- rugi saluran diabaikan.
3. *Constrain ramp rate* dianggap sama antara *ramp up* dan *ramp down*.
4. Perubahan permintaan beban dianggap dalam interval jam.
5. Permintaan beban tidak melebihi kemampuan pembangkitan total pembangkit, baik total pembangkitan maksimum maupun total pembangkitan minimum.



6. Metode yang digunakan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah dengan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*.
7. Semua unit pembangkit diasumsikan selalu dalam keadaan menyala.

## 1.5 Metode Penelitian

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian tentang *Dynamic Economic Dispatch (DED)* yaitu *Economic Dispatch* dengan beban dalam rentang waktu tertentu serta memperhatikan *constrain ramp rate* ya. Untuk mendapatkan penjadwalan dinamis yang ekonomis dari setiap unit pembangkit akan digunakan metode *Cuckoo Search Algorithm* dalam melakukan perhitungan. Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini meliputi fungsi biaya pembangkitan tiap unit pembangkit, batas maksimal dan minimal pembangkitan dan *ramp rate* dari tiap unit pembangkit dan beban tiap interval waktu satu jam.

Tahapan pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur  
Literatur yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah berasal dari jurnal ilmiah, *text book* dan thesis.
2. Pengumpulan data  
Data yang diperlukan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini adalah fungsi biaya pembangkitan tiap unit pembangkit, batas maksimal dan minimal pembangkitan dan *ramp rate* dari tiap unit pembangkit dan beban tiap interval waktu satu jam.
3. Pembuatan program  
Pembuatan program dilakukan dengan menggunakan software Matlab dengan menggunakan metode *Cuckoo Search Algorithm* pada *Dynamic Economic Dispatch*. Setelah program selesai dibuat akan ivalidasi terlebih dahulu menggunakan sistem kecil yang telah ada pada literatur kemudian digunakan dalam sistem yang lebih besar.
4. Simulasi dan analisis  
Simulasi dilakukan dengan merubah parameter-paramater yang ada pada *Cuckoo Search Algorithm* dan melakukan

analisa terhadap pengaruh perubahan parameter-parameter pada *Cuckoo Search Algorithm*.

5. Penulisan buku

Penulisan buku dilakukan sebagai laporan dalam menyampaikan analisis dan kesimpulan dari permasalahan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Buku laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut:

Bab 1: Pendahuluan

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.

Bab 2: *Dynamic Economic Dispatch*

Bab ini berisi tentang dasar teori yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu mengenai *Dynamic Economic Dispatch* dan *Cuckoo Search Algorithm* dan sistem kelistrikan secara umum.

Bab 3: Penerapan *Cuckoo Search Algorithm* pada *Dynamic Economic Dispatch*.

Bab ini berisi tentang penjelasan tentang penerapan *Cuckoo Search Algorithm* pada permasalahan *Dynamic Economic Dispatch*.

Bab 4: Simulasi dan Analisis

Bab ini berisi hasil simulasi *Dynamic Economic Dispatch* dengan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* serta analisis hasil perhitungan dari *Dynamic Economic Dispatch* yang menyertakan *ramp rate* dan hasil perhitungan yang tidak menyertakan *ramp rate*.

Bab 5: Penutup

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil simulasi dan analisis dan saran-saran yang berhubungan dengan permasalahan *Dynamic Economic dispatch* dengan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*.



## 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

1. Dapat membantu menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* khususnya *Dynamic Economic Dispatch* dalam sistem tenaga listrik.
2. Diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dapat menerapkan ilmu dan menambah ilmu dalam bidang sistem tenaga listrik khususnya pada optimasi pembangkitan.
4. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat dikembangkan lagi untuk menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan berbagai macam *constrain* yang lain.





*-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-*

## BAB 2

### *DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH*

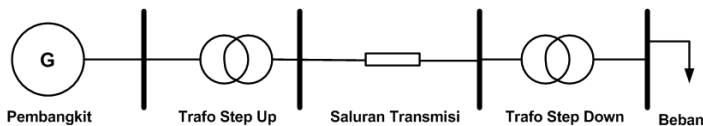
#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Saat ini energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Manusia memanfaatkan energi listrik untuk membantu aktivitas sehari-hari. Dalam kesehariannya hampir semua bidang kehidupan manusia menggunakan energi listrik misalnya dalam industri, perumahan dan komersil.[4]

Untuk membangkitkan energi listrik diperlukan suatu sistem yang terdiri dari beberapa bagian. Secara umum bagian – bagian dalam jaringan sistem tenaga listrik, dibagi menjadi:

1. Generator
2. Transmisi dan Subtransmisi
3. Distribusi
4. Beban

Bagian-bagian tersebut merupakan satu kesatuan, energi yang dibangkitkan oleh generator disalurkan oleh saluran transmisi untuk selanjutnya didistribusikan ke beban-beban. Gambaran umum sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:



**Gambar 2. 1** Sistem Tenaga Listrik Secara Umum

### 2.1.1 Generator

Generator merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Ada beberapa tipe dari generator tetapi yang paling sering digunakan dalam sistem tenaga listrik adalah generator 3 phase atau sering disebut juga dengan *synchronous generator* atau alternator.

Pada *synchronous generator* terdapat 2 medan sinkron yang berputar. Dari kedua medan sinkron tersebut, medan yang pertama dihasilkan oleh putaran rotor dan dieksitasi oleh arus DC. Sementara untuk medan yang kedua dihasilkan oleh arus jangkar tiga phase pada belitan stator.

Untuk menggerakkan generator dibutuhkan *prime over*. Sementara itu ada beberapa macam *prime mover* yang digunakan untuk menggerakkan turbin, seperti turbin hidrolik yang digerakan oleh airterjun, turbin uap yang menggunakan sumber energi hasil pembakaran batubara dan lain sebagainya.[4]

### 2.1.2 Transmisi dan Subtransmisi

Jaringan transmisi digunakan untuk mentransfer energi listrik yang dihasilkan oleh generator ke jaringan distribusi yang nantinya digunakan untuk memasok listrik ke beban. Jaringan transmisi saling terhubung satu sama lain, yang dapat saling mentransfer energi listrik. Untuk saling mentransfer listrik dilakukan jika pada saat keadaan darurat dan memenuhi syarat *economic dispatch*.

Terdapat beberapa standart tegangan transmisi berdasarkan ANSI (*American National Standards Institute*). Untuk standard tegangan jaringan transmisi adalah lebih dari 60 kV seperti 69 KV, 115 KV, 138KV, 161KV, 230KV, 345KV, 500KV dan 765KV *line-to-line*.

### 2.1.3 Distribusi

Bagian dari sistem distribusi yaitu dimulai dari gardu distribusi ke pelanggan jaringan distribusi primer biasanya menggunakan tegangan 4 KV sampai dengan 34 KV dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban di berbagai tempat. Untuk memenuhi kebutuhan beban beberapa pelanggan industri kecil dapat langsung menggunakan *feeder* utama.



Pada jaringan distribusi sekunder digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban dari pelanggan pada berbagai macam level beban.

Dalam jaringan distribusi terdapat dua sistem, yaitu sistem *overhead* dan *underground*. Pada sistem *overhead* energi listrik ditransmisikan lewat kabel yang terpasang di udara, sementara pada sistem *underground* energi listrik ditransmisikan lewat kabel yang tertanam di dalam tanah.

#### **2.1.4 Beban**

Beban pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi beberapa macam, seperti beban industri, beban komersil dan beban perumahan. Untuk beban industri yang sangat besar disuplai dengan menggunakan sistem transmisi. Untuk beban industri besar disuplai dengan menggunakan sistem subtransmisi dan untuk beban industri kecil disuplai dengan menggunakan sistem distribusi primer.

Pada beban industri didominasi oleh beban *composite* dan beban motor induksi dengan jumlah yang banyak. Sementara pada beban komersil dan perumahan didominasi oleh beban untuk lampu-lampu penerangan, penghangat dan juga pendingin ruangan.

### **2.2 Karakteristik Unit Pembangkit**

Perbedaan energi primer dan tingkat efisiensi menyebabkan biaya produksi dari masing-masing pembangkit menjadi berbeda. Sedangkan perbedaan karakteristik teknis menyebabkan posisi pembangkit dalam mensuplai beban sistem menjadi berbeda, yang umumnya dikelompokkan menjadi tiga segmen, yaitu pembangkit pemikul beban dasar (*base load*), pemikul beban menengah (*load follower*) dan pemikul beban puncak (*peaker*).

Pembangkit dengan karakteristik yang kurang fleksibel yaitu pembangkit yang tidak dapat dihidupkan atau dimatikan dalam waktu yang singkat serta lambat dalam menaikkan dan menurunkan pembebanan mengharuskan pembangkit untuk dioperasikan sepanjang pembangkit siap. Pembangkit kelompok ini digolongkan ke dalam pembangkit *base load*.

Disamping keterbatasan teknis, ikatan kontrak pembelian bahan bakar berupa *take or pay*, terkadang menjadi alasan mengapa pembangkit digolongkan sebagai pembangkit *base-load*.

Pembangkit *base load* biasanya berskala besar dan memiliki biaya produksi yang lebih murah dibandingkan dengan kelompok pembangkit lainnya.

Pembangkit *base load* umumnya dioperasikan pada kapasitas terpasang maksimum sepanjang pembangkit tersebut siap serta sesuai dengan kesiapan sistem penyaluran. Pembangkit jenis ini contohnya adalah PLTU batubara, pembangkit yang terikat kontrak *take or pay* bahan bakar seperti PLTP, serta pembangkit hidro yang memiliki sumber air yang hanya akan ekonomis bila dioperasikan, seperti pembangkit hidro *run off river*. Pembangkit kelompok *load follower* meliputi pembangkit yang lebih fleksibel namun lebih mahal dari pembangkit *base load*, seperti PLTGU gas dan PLTU minyak.

Pembangkit yang difungsikan sebagai pemikul beban puncak meliputi pembangkit yang fleksibel baik dalam kecepatan perubahan pembebanan maupun *start stop* pembangkit dan umumnya berskala dibawah 100 MW seperti PLTG minyak, PLTD serta PLTA waduk.[6]

### **2.2.1 Karakteristik dari Unit Pembangkit *Thermal***

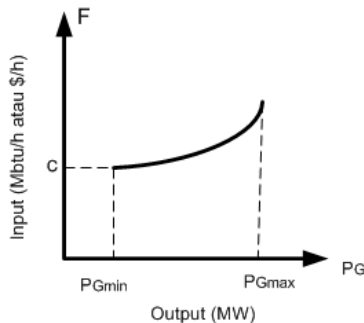
Fungsi biaya pembangkitan dari pembangkit *thermal* diperoleh dari karakteristik input-output pembangkit. Fungsi biaya yang digunakan adalah dalam bentuk Btu *per hour* (Btu/h) atau (Mbtu/h). Dimana biaya pembangkitan (Btu/h) adalah besarnya biaya (\$) bahan bakar setiap jam(\$/h) yang dibutuhkan oleh unit generator. Hasil output dari unit generator direpresentasikan sebagai *P<sub>g</sub>* dengan satuan Megawatt (MW).

Disamping biaya bahan bakar, biaya operasi tiap unit juga meliputi biaya tenaga kerja, biaya *maintenance* pembangkit, biaya transportasi dari bahan bakar. Biaya-biaya operasi tiap unit tersebut direpresentasikan sebagai biaya tetap (*fixed cost*) dan tidak dimasukkan sebagai fungsi biaya pembangkitan.

Umumnya unit pembangkit *thermal* terdiri dari boiler, turbin uap dan generator. Input dari boiler adalah bahan bakar dan outputnya adalah volume dari uap. Input dari turbin



generator adalah volume dari uap dan outputnya adalah energi listrik. Dari input-output tersebut dapat digambarkan dalam suatu kurva *convex* (cembung). Sehingga dapat dianalisa bahwa karakteristik *input-output* dibatasi oleh kapasitas pembangkitan minimal dan maximal dari masing-masing unit generator. Karakteristik input-output dari pembangkit thermal ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut:



**Gambar 2. 2** Karakteristik Input Output Pembangkit Thermal

Umumnya, karakteristik *input-output* dari unit pembangkit berbentuk *non-linear*. Persamaan fungsi biaya *output* dari unit generator berbentuk fungsi kuadrat.[7]

### 2.3 Economic Dispatch

Tujuan dari ED (*Economic Dispatch*) adalah untuk meminimalkan biaya pembangkitan yang diperoleh dengan menentukan besarnya daya pembangkitan tiap-tiap generator. Penentuan besarnya daya pembangkitan masing-masing unit generator diperoleh dengan batasan pembangkitan maximum dan pembangkitan minimum generator. [7]

Persamaan fungsi biaya pembangkitan adalah sebuah fungsi kuadrat. Persamaan dari fungsi biaya dapat dilihat pada persamaan (2.1) berikut:

$$F = aP_{Gi}^2 + bP_{Gi} + c \quad (2.1)$$



Dimana  $a$ ,  $b$  dan  $c$  adalah koefisien karakteristik *input – output*. Konstanta  $c$  merepresentasikan konsumsi bahan bakar dari unit generator.

Fungsi objektif dari penyelesaian *Economic Dispatch* dapat dilihat pada persamaan (2.2) berikut [8]:

$$F_t = \min(\sum_{i=1}^n F_i(P_{Gi})) \quad (2.2)$$

Dimana  $P_{Gi}$  adalah daya yang dibangkitkan oleh unit ke- $i$ , dan  $F_i(P_{Gi})$  fungsi biaya pembangkitan dari  $P_{Gi}$ .

Terdapat beberapa constrain dalam menyelesaikan *Economic Dispatch* yaitu *generating capacity constrain* dan *power balance constrain*, yang dijelaskan seperti berikut:

#### 1. *Generating capacity constrain*

Untuk pengoperasian secara normal daya output tiap generator dibatasi oleh batas minimum dan batas maximum yang dapat dilihat pada persamaan (2.3) berikut:

$$P_{Gi}^{min} \leq P_G \leq P_{Gi}^{max} \quad (2.3)$$

Dimana  $P_{Gi}^{min}$  adalah kapasitas pembangkitan minimum generator unit ke- $i$ .,  $P_{Gi}^{max}$  adalah kapasitas pembangkitan maximum generator unit ke- $i$ .

#### 2. *Power balance constrain*

Total daya yang dibangkitkan harus memenuhi total permintaan beban dan memenuhi losses pada saluran transmisi. Pada pembahasan Tugas Akhir ini besarnya losses pada saluran transmisi diabaikan. *Power balance constrain* dijelaskan pada persamaan (2.4) berikut:

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} = P_D \quad (2.4)$$

Dimana  $P_{Gi}$  merupakan jumlah pembangkitan generator,  $P_D$  merupakan permintaan beban.

## 2.4 Dynamic Economic Dispatch

Seperti *Economic Dispatch* konvensional *Dynamic Economic Dispatch* digunakan untuk menentukan besarnya daya pembangkitan tiap-tiap generator dengan biaya paling minimum. Perbedaannya adalah pada ED konvensional digunakan untuk satu interval waktu saja, sementara untuk DED digunakan untuk lebih dari satu interval waktu dengan *constrain* yang telah ditentukan.[9] DED dapat dirumuskan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_t = \sum_{i=1}^N \sum_{i=1}^n F_i(P_{Gi}^t) \quad (2.5)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah unit generator dan  $N$  adalah jumlah interval waktu.

Terdapat beberapa *constrain* dalam menyelesaikan DED diantaranya *load generation balance constrain*, *ramp rate constrain*, *generator capacity constrain*.

### 1. Power balance

Sama halnya ED pada DED terdapat *power balance constrain* yang dapat dilihat pada persamaan (2.6) berikut:

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi}^t = P_D^t \quad (2.6)$$

Dimana  $P_D^t$  merupakan permintaan beban pada waktu  $t$ .

### 2. Ramp rate

*Ramp rate* berpengaruh pada  $Lb$  dan  $Ub$  [10]. Dengan adanya *ramp rate*  $Lb$  dan  $Ub$  dari pembangkit Persamaan *ramp rate* dapat dilihat pada persamaan (2.7) berikut:

$$\max(P_{i \min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \leq P_i^{t-1} \leq \min(P_{i \min}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (2.7)$$

Sehingga, pada interval waktu berikutnya  $Lb$  dan  $Ub$  dapat dilihat pada persamaan (2.8) dan (2.9) berikut:

$$P_{i \min} = \max(P_{i \min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \quad (2.8)$$



$$P_{i\max} = \min(P_{i\max}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (2.8)$$

### 3. *Generating capacity*

Untuk pengoperasian secara normal daya output tiap generator dibatasi oleh batas minimum dan batas maximum yang dapat dilihat pada persamaan (2.9) berikut:

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_G \leq P_{Gi}^{\max} \quad (2.9)$$

$P_{Gi}^{\min}$  merupakan kapasitas pembangkitan minimum generator unit ke-  $i$  .  $P_{Gi}^{\max}$  merupakan kapasitas pembangkitan maximum generator unit ke-  $i$  .

## 2.5 *Cuckoo Search Algorithm*

*Cuckoo search algorithm* merupakan salah satu algoritma metaheuristik. *Cuckoo search algorithm* dibuat pada tahun 2009 oleh Xin-She Yang dari Universitas Cambridge dan Suash Deb dari *C.V. Raman College of Engineering*. *Cuckoo Search* dibuat berdasarkan dari beberapa species burung *Cuckoo* saat bertelur.[2]

### 2.5.1 *Burung Cuckoo Saat Berkembang Biak*

Burung *Cuckoo* merupakan salah satu species burung yang menarik, selain suaranya yang indah burung *Cuckoo* juga mempunyai pola berkembang biak yang unik.

Ada beberapa jenis species burung *Cuckoo*, beberapa species burung *Cuckoo* seperti Ani dan Guira bertelur disarang burung lain. Sementara beberapa species lainnya dapat membuat warna pola telurnya menyerupai telur pemilik sarang.

Species burung *Cuckoo* parasit bahkan dapat memilih sebuah sarang untuk bertelur dimana burung pemilik sarang tersebut saja meletakkan telur-telurnya.

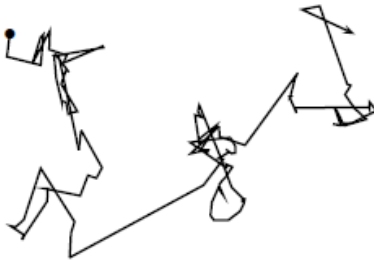
Telur burung *Cuckoo* dapat menetas lebih cepat dari pada telur pemilik sarang. Setelah menetas insting pertama dari anakan burung *Cuckoo* adalah membuang telur-telur pemilik sarang.[2]



### 2.5.2 *Random Walks* dan *Lévy Flight*

*Random Walks* merupakan sebuah proses acak yang terdiri dari langkah-langkah acak yang berurutan.[2] *Random Walks* dapat diaplikasikan di berbagai permasalahan dibidang ekonomi, statistik, computer science dan engineering.

*Lévy Flight* merupakan sebuah *Random Walk* dimana panjang langkahnya memenuhi distribusi *Lévy*. Panjang langkah dari *Lévy Flight* dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut:



**Gambar 2. 3** *Lévy Flight* Dengan 50 Langkah Berurutan Dengan Langkah Awal (0,0)

Untuk mendapatkan bilangan-bilangan acak menggunakan *Lévy Flight* terdiri dari dua tahapan, yang pertama yaitu pemilihan arah secara acak dan yang kedua menghasilkan langkah menggunakan distribusi *Lévy*.

Untuk mendapatkan dua tahapan ini maka dapat digunakan *Mantegna Algorithm*. Dengan menggunakan *Mantegna Algorithm* bisa diperoleh distribusi *Lévy* stabil yang simetris. Yang dimaksud dengan simetris adalah langkah langkah nya dapat berupa positif atau negative.

### 2.5.3 *Cuckoo Search*

Dalam menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*, digunakan tiga buah aturan yaitu:

1. Setiap burung *Cuckoo* akan bertelur sebanyak 1 butir di setiap waktunya, dan telur tersebut diletakkan di tempat yang dipilih secara acak.

2. Sarang terbaik dengan kualitas telur yang baik akan melahirkan generasi berikutnya.
3. Jumlah sarang yang tersedia dibatasi, telur yang diletakkan oleh burung *Cuckoo* akan ditemukan oleh burung pemilik sarang dengan probabilitas sebesar 0,1 ( $P_a \in 0.1$ ).

Dalam kasus ini burung pemilik sarang dapat membuang telur burung *Cuckoo* atau sengaja meninggalkan sarang tersebut dan membangun sarang yang baru.

Untuk penerapan dalam permasalahan, dapat menggunakan asumsi sederhana bahwa setiap telur dalam sarang merepresentasikan sebuah solusi, dan setiap burung *Cuckoo* hanya bertelur sebanyak satu butir ke sarang burung lain. Telur burung *Cuckoo* tersebut merepresentasikan solusi baru yang menggantikan solusi yang ada sebelumnya.

*Cuckoo Search Algorithm* dapat dikembangkan ke permasalahan yang lebih kompleks dimana dalam setiap sarang mempunyai beberapa telur yang masing masing telurnya merepresentasikan beberapa set solusi.

Untuk mempermudah pada *case* kali ini digunakan pendekatan yang sederhana dimana setiap sarang hanya mempunyai sebuah telur *Cuckoo* dalam *case* ini setiap sarang didalamnya terdapat satu telur dan satu burung *Cuckoo*

Berdasarkan tiga aturan diatas maka, langkah-langkah dasar dari *Cuckoo Search Algorithm* dapat diringkas pada *pseudocode* seperti berikut:

*Objective function*  $f(\mathbf{x})$ ,  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_d)^T$

*Generate initial population of n host nest*  $\mathbf{x}_i$

**while** ( $t < \text{MaxGeneration}$ ) or (stop criterion)

*Get a cuckoo randomly/generate a solution by Lévy light and then evaluate its quality/fitness*  $F_i$

*Choose a nest among n (say, j) randomly*

**if** ( $F_i > F_j$ )

*Replace j by the new solution*

**End**

*A fraction (pa) of worse nests are abandoned and new ones/solution are built /generated*

*Keep best solutions(or nests with the quality questions)*



*Rank the solution and find the current best  
end while  
postprocess result and visualization*

Ketika seekor *Cuckoo* membangkitkan solusi-solusi baru ( $\mathbf{x}^{(t+1)}$ ), menggunakan *Lévy Flight*. Solusi (sarang) baru pada *Cuckoo Search Algorithm* dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\mathbf{x}^{(t+1)} = \mathbf{x}^{(t)} + \alpha \oplus \text{Levy}(\lambda) \quad (2.10)$$

Dimana  $\alpha > 0$  merupakan *stepsize* (ukuran langkah) yang dimasukkan dalam persamaan dan disesuaikan dengan permasalahan.[2]





*-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-*

### **BAB 3**

## **PENERAPAN *CUCKOO SEARCH ALGORITHM* PADA *DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH***

Pada Tugas Akhir ini untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan *constrain ramp rate* digunakan *Cuckoo Search Algorithm*. *Ramp rate* merupakan batas laju perubahan daya pada generator. Plan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah plan dengan 10 generator. Untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch* dengan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* sementara untuk *software* yang digunakan adalah *software* Matlab.

### **3.1 *Cuckoo Search Algorithm* untuk *Dynamic Economic Dispatch***

*Cuckoo Search Algorithm* merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Algoritma ini dibuat berdasarkan tingkah laku burung cuckoo saat bertelur dan dikombinasikan dengan langkah random *Lévy Flight*.

Pada Tugas Akhir ini *Cuckoo Search Algorithm* digunakan untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch*. *Cuckoo Search Algorithm* digunakan untuk mencari kombinasi besarnya pembebanan pembangkit dengan biaya paling minimal selama beberapa interval waktu tertentu.

### **3.2 Parameter pada *Cuckoo Search Algorithm***

Terdapat beberapa parameter *default* pada *Cuckoo Search Algorithm* yang digunakan untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch*. Parameter *default* tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

**Tabel 3. 1** Parameter Pada *Cuckoo Search Algorithm*

Parameter	Representasi <i>Cuckoo Search Algorithm</i>
N	Jumlah sarang
$pa$	Probabilitas <i>alien egg</i>
Lb	<i>Lower bound</i>
Ub	<i>Upper bound</i>
nd	Jumlah variabel
N_IterTotal	Jumlah iterasi
N_Iter	Urutan mulai iterasi

### 3.3 Insialisasi *Constrain Dynamic Economic Dispatch*

Proses inisialisasi dilakukan dengan pencarian sarang secara acak. Dalam sarang tersebut terdapat beberapa variable nilai yang merepresentasikan jumlah pembangkit yang digunakan. Untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch*, terdapat beberapa batasan (*constrain*) yang digunakan diantaranya:

#### 3.3.1 *Generator Capacity*

Nilai-nilai yang ada dalam sarang diperoleh secara acak dan dibatasi oleh Lb (batas bawah) dan Ub (batas atas). Besarnya batas atas dan bawah dapat dilihat pada persamaan (3.1) berikut:

$$P_{Gi}^{min} \leq P_G \leq P_{Gi}^{max} \quad (3.1)$$

Maksudnya, nilai-nilai yang ada dalam sarang dibentuk dengan tidak lebih atau sama dengan Lb dan tidak kurang atau sama dengan batas bawah Ub generator.

#### 3.3.2 *Power Balance*

Jumlah total dari nilai yang terdapat di dalam sarang adalah sama dengan jumlah permintaan beban, seperti yang dijelaskan pada persamaan (3.2) berikut:

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} = P_D \quad (3.2)$$



Dimana jumlah total nilai yang ada didalam sarang merupakan jumlah pembangkitan seluruh generator, sehingga permintaan beban dapat terpenuhi.

### 3.3.3 Ramp Rate

Penggunaan *ramp rate* berpengaruh pada batasan  $L_b$  dan  $U_b$  [10] Dengan adanya *ramp rate*  $L_b$  dan  $U_b$  dari pembangkit direpresentasikan pada persamaan (3.3) berikut:

$$\max(P_{i\min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \leq P_i^t \leq \min(P_{i\min}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (3.3)$$

Sehingga , pada interval waktu berikutnya  $L_b$  dan  $U_b$  berubah. Perubahan  $L_b$  dan  $U_b$  dapat dilihat pada persamaan (3.4) dan (3.5):

$$P_{i\min} = \max(P_{i\min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \quad (3.4)$$

$$P_{i\max} = \min(P_{i\max}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (3.5)$$

## 3.4 Simulasi Cuckoo Search Algorithm untuk Menyelesaikan Dynamic Economic Dispatch

Untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch* dengan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* terdapat data-data yang dibutuhkan yaitu data fungsi biaya pembangkitan dari pembangkit, data pembangkitan maksimum (  $P_{\min}$  ), data pembangkitan minimum (  $P_{\min}$  ), data *ramp rate* dan yang terakhir adalah data permintaan beban (  $P_D$  ).

### 3.4.1 Proses Pencarian Sarang

Pada *Cuckoo Search Algorithm*, tpembentukan dilakukan dua kali yaitu:

#### 1. Pencarian sarang awal

Pencarian sarang awal dilakukan pada iterasi pertama untuk mendapatkan data awal. Pencarian sarang awal dilakukan dengan metode acak biasa yang nilainya dibatasi oleh  $L_b$  dan  $U_b$ .

## 2. Pencarian sarang via *Lévy Flight*

Setelah mendapatkan data awal dari iterasi pertama, untuk iterasi kedua dan seterusnya pencarian sarang menggunakan metode acak via *Lévy Flight*.

Pada metode acak via *Lévy Flight* menggunakan data awal dari sarang sebelumnya, yang yang direpresentasikan pada persamaan (3.5) berikut:

$$\mathbf{x}^{(t+1)} = \mathbf{x}^{(t)} + \alpha \oplus \text{Lévy}(\lambda) \quad (3.5)$$

Dimana  $\mathbf{x}^{(t)}$  merupakan sarang awal, sementara  $\mathbf{x}^{(t+1)}$  sarang baru yang diperoleh melalui via *Lévy Flight*.

Setelah mendapatkan sarang melalui *Lévy Flight* dilakukan evaluasi sarang berdasarkan probabilitas *alien egg* ( $P_a$ ). Sarang yang lolos seleksi akan mempunyai nilai tetap, sementara yang tidak lolos seleksi akan berubah nilainya sesuai dengan *stepsize*.

### 3.4.2 Perhitungan Biaya Pembangkitan

Perhitungan biaya pembangkitan dilakukan setelah mendapat kan sarang yang diperoleh dengan menggunakan *Lévy Flight* dan telah dievaluasi dengan probabilitas *alien egg*. Setiap sarang berisi kombinasi nilai-nilai besarnya pembangkitan tiap-tiap generator.

Perhitungan dilakukan sesuai dengan persamaan biaya pembangkitan yaitu:

$$F = aP_{Gi}^2 + bP_{Gi} + c \quad (3.6)$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut masing-masing sarang akan mempunyai nilai *fitness* sesuai dengan kombinasi pembangkitannya.

### 3.4.3 Pemilihan Sarang Terbaik

Untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch* dilakukan evaluasi, yaitu:

1. Pemilihan sarang terbaik dari sejumlah  $n$  sarang



Setelah setiap sarang mempunyai nilai *fitness* maka dilakukan evaluasi untuk memilih sarang terbaik dengan *fitness* terbaik. *Fitness* terbaik merupakan *fitness* dengan nilai paling minimum, yang direpresentasikan pada persamaan (3.7) berikut:

$$F_t = \min(\sum_{i=1}^n F_i(P_{Gi})) \quad (3.7)$$

Setelah didapatkan sarang terbaik dengan nilai *fitness* minimum, maka hasilnya disimpan, kemudian dilakukan pencarian nilai *fitness* minimum pada iterasi berikutnya.

2. Pemilihan sarang terbaik dari sejumlah  $N\_Iter_{total}$  dari tiap interval waktu.

Nilai *fitness* yang diperoleh tiap iterasi dari sejumlah  $N\_Iter_{total}$  (jumlah iterasi) dipilih yang paling minimum. Nilai *fitness* minimum akhir ini merepresentasikan biaya pembangkitan minimum pada pembebanan interval waktu pertama. Nilai *fitness* minimum akhir dapat dilihat pada persamaan (3.8) berikut :

$$F_t = \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^n F_i(P_{Gi}^t) \quad (3.8)$$

Sama seperti interval waktu pertama, untuk interval waktu kedua dan seterusnya dilakukan pencarian nilai *fitness* minimum akhir dengan pembebanan yang berbeda.

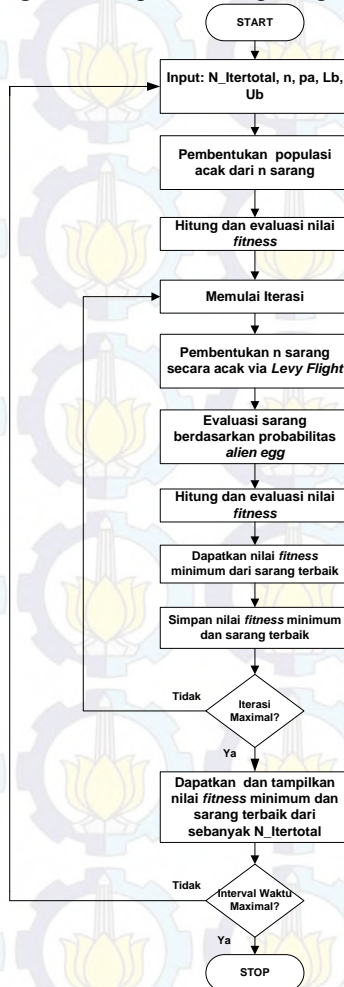
### 3.4.4 Hasil

Hasil *running* program pada penyelesaian *Dynamic Economic Dispatch* menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* yaitu berupa biaya total pembangkitan dan kombinasi daya pembangkitan tiap interval waktu.



### 3.5 Flowchart DED Menggunakan Cuckoo Search Algorithm

Flowchart untuk menyelesaikan DED menggunakan Cuckoo Search Algorithm dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut:



**Gambar 3. 1** Flowchart DED menggunakan Cuckoo Search Algorithm

## BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

Ada Pada Tugas Akhir ini dilakukan simulasi menggunakan *software* Matlab untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch* menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*. Dari hasil yang diperoleh dilakukan analisa yang akan dibahas pada bab ini.

### 4.1 Validasi Program

Validasi program dilakukan sebelum mengaplikasikan *Cuckoo Search Algorithm* pada sistem 10 generator. Validasi program dilakukan dengan menyelesaikan contoh kasus *economic dispatch* pada buku “*Power Generation Operation and Control third edition*” karangan Allan J.Wood pada halaman 67-68 yaitu pada *example 3A*.

Validasi program dilakukan untuk mengetahui daya output masing masing generator. Data fungsi biaya dan data pembangkitan minimum dan maximum pada *example 3A* dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2 berikut:

**Tabel 4. 1** Fungsi Biaya Pembangkitan *Example 3A*[5]

Pembangkit	$a_i$ \$/ (MW) <sup>2</sup> h	$b_i$ \$/MWh	$c_i$ \$/h
Unit 1	0.00156	7.92	561
Unit 2	0.00194	7.85	310
Unit 3	0.00482	7.9	78

**Tabel 4. 2** Pembangkitan Maximum dan Pembangkitan Minimum *Example 3A* [5]

Pembangkit	<i>Example 3A</i>	
	<i>Pmax</i>	<i>Pmin</i>
Unit 1	600	150
Unit 2	400	100
Unit 3	200	50

Sama seperti *example 3A* pada buku “*Power Generation Operation and Control third edition*” karangan Allan J.Wood, dalam melakukan validasi program menggunakan beban sebesar 850 MW.

#### 4.1.1 Hasil Validasi Program

Setelah melakukan simulasi untuk menyelesaikan contoh kasus pada *example 3A* dan mengambil sampel maka didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

**Tabel 4. 3** Hasil Validasi Program Kasus *Example 3A*

Parameter	Pembangkit		
	Unit 1	Unit 2	Unit 3
Nilai minimum (\$)	388.9541	328.3688	120.5310
Nilai maksimum (\$)	397.3777	338.9951	126.2026
Nilai rata-rata (\$)	393.3424	333.7711	122.8864
Standar deviasi (\$)	2.5649	2.9452	1.8429
Standar deviasi (%)	0.6520	0.8824	1.14

#### 4.1.2 Analisa Hasil Validasi

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat buku “*Power Generation Operation and Control third edition*” karangan Allan J.Wood maka dapat ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut:

**Tabel 4. 4** Hasil *Example 3A* dan Hasil Validasi Program

Pembangkit	Hasil <i>Example 3A</i> (MW)	Hasil Validasi Program (MW)
Unit 1	393.2	$393.3424 \pm 2.5649$
Unit 2	334.6	$333.7711 \pm 2.9452$
Unit 3	122.2	$122.8864 \pm 1.8429$

Berdasarkan tabel (4.4) daya output pembangkit unit 1 pada hasil perhitungan adalah sebesar 393.2 MW sementara pada hasil validasi program diperoleh 393.3424 MW dengan standar deviasi sebesar 2.5649 MW (0.6520%). Daya output pembangkit unit 2 pada hasil perhitungan adalah sebesar 334.6 MW



sementara pada hasil validasi program diperoleh 333.7711 MW dengan standar deviasi sebesar 2.9452 MW (0.8824%). Daya output pembangkit unit 2 pada hasil perhitungan adalah sebesar 122.2 MW sementara pada hasil validasi program diperoleh 122.8864 MW dengan standar deviasi sebesar 1.8429 MW (1.14%).

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan maka hasil validasi program masuk dalam jangkauan hasil perhitungan *example 3A* pada buku “*Power Generation Operation and Control third edition*” pada *example 3A*.

## 4.2 Data Pembangkit

Pada Tugas Akhir ini simulasi dilakukan dengan sistem yang menggunakan 10 unit pembangkit. Dalam melakukan simulasi dengan 10 unit pembangkit diperlukan data dari masing-masing unit Pembangkit. Data-data yang diperlukan meliputi, pembangkitan maksimum, pembangkitan minimum, persamaan fungsi biaya dan data permintaan beban.

Persamaan fungsi biaya pembangkitan pada sistem 10 Pembangkit yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut:

**Tabel 4. 5** Fungsi Biaya Pembangkitan

Pembangkit	$a_i$ \$/ (MW) <sup>2</sup> h	$b_i$ \$/MWh	$c_i$ \$/h
Unit 1	0.1524	38.5397	786.7988
Unit 2	0.1058	46.1591	451.3251
Unit 3	0.0280	40.3965	1049.9977
Unit 4	0.0354	38.3055	1243.5311
Unit 5	0.0211	36.3278	1658.5696
Unit 6	0.0179	38.2704	1356.6592
Unit 7	0.0121	36.5104	1450.7045
Unit 8	0.0121	36.5104	1450.7045
Unit 9	0.1090	39.5804	1455.6056
Unit 10	0.1295	40.5407	1469.4026

Sementara untuk kapasitas pembangkitan maksimum dan kapasitas pembangkitan minimum pada sistem 10 Pembangkit yang digunakan pada Tugas Akhir ini ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut:

**Tabel 4. 6** Batas Pembangkitan Maksimum dan Minimum

Pembangkit	Pmax (MW)	Pmin (MW)
Unit 1	470	150
Unit 2	470	135
Unit 3	340	73
Unit 4	300	60
Unit 5	243	73
Unit 6	160	57
Unit 7	130	20
Unit 8	120	47
Unit 9	80	20
Unit 10	55	10

Untuk *constrain ramp rate* pada sistem 10 Pembangkit yang digunakan dalam Tugas Akhir ini ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut:

**Tabel 4. 7** Batasan *Ramp Rate* Tiap Unit Pembangkit

Pembangkit	Ramp Rate (MW/Jam)
Unit 1	80
Unit 2	80
Unit 3	80
Unit 4	50
Unit 5	50
Unit 6	50
Unit 7	30

**Tabel 4.7** Batasan *Ramp Rate* Tiap Unit Pembangkit (lanjutan)

Pembangkit	Ramp Rate (MW/Jam)
Unit 8	30
Unit 9	30
Unit 10	30

Simulasi pada Tugas Akhir ini menggunakan 10 interval waktu dalam satuan jam. Besarnya permintaan beban yang digunakan pada Tugas Akhir ini ditunjukkan pada tabel 4.8 berikut:

**Tabel 4.8** Data Permintaan Beban

Jam ke-	Beban (MW)
1	1036
2	1110
3	1258
4	1406
5	1480
6	1628
7	1554
8	1480
9	1332
10	1184

### 4.3 Simulasi Menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*

Simulasi dilakukan dengan melakukan *running* program dengan *software* Matlab pada ED konvensional (tanpa menggunakan *constrain ramp rate*) dan pada DED (dengan menggunakan *constrain ramp rate*). Masing-masing dilakukan *running* program sebanyak 10 kali baik pada ED konvensional maupun pada DED.



#### 4.3.1 Hasil Simulasi pada *Economic Dispatch Konvensional*

Setelah melakukan *running* program sebanyak 10 kali diperoleh hasil terbaik dengan harga pembangkitan termurah. Hasil simulasi *Cuckoo Search Algorithm* dalam menyelesaikan ED konvensional dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut:

**Tabel 4. 9** Hasil Simulasi pada ED Konvensional

Running ke-	Total Biaya Pembangkitan (\$)
1	760180
2	760037
3	768393
4	759980
5	761477
6	764558
7	765527
8	764531
9	765107
10	762565

Dari hasil simulasi pada ED konvensional, hasil terbaik dengan biaya pembangkitan total termurah didapat pada saat *running* keempat dengan biaya pembangkitan total sebesar \$ 759980. Hasil *running* keempat menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* dapat dilihat pada tabel 4.10 - 4.12:

**Tabel 4. 10** Hasil Pembangkitan Jam ke-1 Sampai Jam ke-4

Pembangkit	Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4
Unit 1	151.5358	150.2403	152.4821	159.0782
Unit 2	148.1724	139.5155	144.2415	141.2288
Unit 3	142.1951	117.6605	158.5815	243.8141
Unit 4	124.0008	177.4303	198.707	226.5866
Unit 5	156.2892	200.9188	227.9884	163.6569
Unit 6	108.2473	94.0751	93.6758	133.9431

**Tabel 4.10** Hasil Pembangkitan Jam ke-1 Sampai Jam ke-4  
(lanjutan)

Pembangkit	Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4
Unit 7	92.7052	111.6617	110.6362	129.3771
Unit 8	73.4745	60.3944	104.6751	90.6852
Unit 9	24.1456	41.0184	36.0385	65.0809
Unit 10	15.2342	17.085	30.9738	52.5491
<b>Total (MW)</b>	<b>1036</b>	<b>1110</b>	<b>1258</b>	<b>1406</b>
<b>Biaya (\$)</b>	<b>60929</b>	<b>64078</b>	<b>70983</b>	<b>78820</b>

**Tabel 4. 11** Hasil Pembangkitan Jam ke-5 Sampai Jam ke-8

Pembangkit	Jam ke-5	Jam ke-6	Jam ke-7	Jam ke-8
Unit 1	158.5114	176.7364	157.855	151.4581
Unit 2	148.1885	139.5388	154.6023	143.4481
Unit 3	310.0185	335.9912	319.0723	222.0596
Unit 4	200.5213	247.8093	253.3076	259.628
Unit 5	176.2471	227.3244	230.3506	228.4071
Unit 6	149.1908	150.0924	142.5621	155.7593
Unit 7	129.7031	124.7877	97.767	95.9187
Unit 8	104.6062	103.3029	98.5593	112.972
Unit 9	74.5529	70.9131	71.972	69.5625
Unit 10	28.4603	51.5038	27.9519	40.7866
<b>Total (MW)</b>	<b>1480</b>	<b>1628</b>	<b>1554</b>	<b>1332</b>
<b>Biaya (\$)</b>	<b>82666</b>	<b>90774</b>	<b>86990</b>	<b>82023</b>

**Tabel 4. 12** Hasil Pembangkitan pada Jam ke-9 dan Jam ke-10

Pembangkit	Jam ke-9	Jam ke-10
Unit 1	153.6451	151.3671
Unit 2	149.3554	137.5676
Unit 3	205.9795	247.1978
Unit 4	206.5513	68.7028
Unit 5	212.4382	156.5806

**Tabel 4.12** Hasil Pembangkitan Jam ke-9 dan Jam ke-10 (lanjutan)

Pembangkit	Jam ke-9	Jam ke-10
Unit 6	158.8334	131.92
Unit 7	109.652	97.746
Unit 8	52.5916	119.105
Unit 9	50.9289	49.9328
Unit 10	32.0245	23.8802
<b>Total (MW)</b>	<b>1332</b>	<b>1182</b>
<b>Biaya (\$)</b>	<b>75110</b>	<b>67607</b>

#### 4.3.2 Hasil Simulasi pada *Dynamic Economic Dispatch*

Setelah melakukan *running* program sebanyak 10 kali diperoleh hasil terbaik dengan harga pembangkitan termurah. Hasil simulasi *Cuckoo Search Algorithm* dalam menyelesaikan DED dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut:

**Tabel 4. 13** Hasil Simulasi pada DED

Running ke-	Total Biaya Pembangkitan (\$)
1	767489
2	771174
3	780596
4	778275
5	773570
6	774783
7	778687
8	778013
9	778169
10	770887

Dari hasil simulasi pada DED, hasil terbaik dengan biaya pembangkitan total termurah didapat pada saat *running* pertama dengan biaya pembangkitan total sebesar \$ 767489.



Hasil *running* pertama menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* dapat dilihat pada tabel 4.14 – 4.16 :

**Tabel 4. 14** Hasil Pembangkitan Jam ke-1 Sampai Jam ke-4

Pembangkit	Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4
Unit 1	177.0316	157.0809	160.635	175.0716
Unit 2	136.6203	136.6525	145.8554	136.8205
Unit 3	206.98	208.3671	254.5842	314.4941
Unit 4	114.9811	157.6166	183.6457	208.2086
Unit 5	143.3121	145.2717	143.5221	155.0836
Unit 6	86.5474	85.281	106.7407	118.9987
Unit 7	59.9265	73.615	102.3553	108.5306
Unit 8	75.6123	77.3352	81.3583	106.7343
Unit 9	22.4197	43.4012	51.1931	29.8777
Unit 10	12.5691	25.3788	28.1102	52.1803
<b>Total (MW)</b>	<b>1036</b>	<b>1110</b>	<b>1258</b>	<b>1406</b>
<b>Biaya (\$)</b>	<b>62306</b>	<b>64822</b>	<b>72213</b>	<b>79908</b>

**Tabel 4. 15** Hasil Pembangkitan Jam ke-5 Sampai Jam ke-8

Pembangkit	Jam ke-5	Jam ke-6	Jam ke-7	Jam ke-8
Unit 1	168.8777	199.2508	166.6635	158.8325
Unit 2	152.861	161.5813	143.1207	140.5912
Unit 3	306.2281	322.2068	269.479	253.7787
Unit 4	228.2176	255.8074	292.849	268.0776
Unit 5	196.4018	204.1501	218.1842	195.6582
Unit 6	129.4682	148.7403	107.9286	131.2412
Unit 7	115.2931	122.63	128.0726	125.4079
Unit 8	108.4433	109.5941	119.9782	108.7951
Unit 9	30.6048	49.0507	60.3577	47.2133
Unit 10	43.6046	54.9884	47.3665	50.4041
<b>Total (MW)</b>	<b>1480</b>	<b>1628</b>	<b>1554</b>	<b>1332</b>
<b>Biaya (\$)</b>	<b>83341</b>	<b>92376</b>	<b>86672</b>	<b>82403</b>

**Tabel 4. 16** Hasil Pembangkitan Jam ke-9 dan Jam ke-10

Pembangkit	Jam ke-9	Jam ke-10
Unit 1	163.6168	150.4363
Unit 2	139.1985	141.2074
Unit 3	192.923	134.8418
Unit 4	251.4095	235.494
Unit 5	156.2066	154.0084
Unit 6	130.3406	94.157
Unit 7	118.4252	96.9115
Unit 8	91.3245	97.5868
Unit 9	65.4622	67.0202
Unit 10	23.093	12.3365
<b>Total (MW)</b>	<b>1332</b>	<b>1182</b>
<b>Biaya (\$)</b>	<b>75411</b>	<b>68037</b>

#### 4.4 Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit

Dari hasil pembangkitan yang telah didapat baik ED atau DED seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.10-4.12, 4.14-4.16. Dapat dihitung besarnya perubahan daya tiap interval waktu.

##### 4.4.1 Hasil Perubahan Daya pada ED Konvensional

Hasil perubahan daya tiap interval waktu pada ED konvensional dapat dilihat pada tabel 4.17- 4.19 berikut:

**Tabel 4. 17** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-1 sampai Jam ke-4

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	1-2	2-3	3-4		
1	1.2955	2.2418	6.5961	80	Sesuai
2	8.6569	4.726	3.0127	80	Sesuai
3	24.5346	40.921	85.2326	80	Tidak Sesuai
4	53.4295	21.2767	27.8796	50	Tidak Sesuai

**Tabel 4.17** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-1 sampai Jam ke-4 (lanjutan)

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	1-2	2-3	3-4		
5	44.6296	27.0696	64.3315	50	Tidak Sesuai
6	14.1722	0.3993	40.2673	50	Sesuai
7	18.9565	1.0255	18.7409	30	Sesuai
8	13.0801	44.2807	13.9899	30	Tidak Sesuai
9	16.8728	4.9799	29.0424	30	Sesuai
10	1.8508	13.8888	21.5753	30	Sesuai

Dapat analisa bahwa pada tabel 4.17 terdapat beberapa perubahan daya yang tidak sesuai dengan *constrain ramp rate*. Perubahan daya unit pembangkit ke-3 pada interval waktu antara jam 3-4 adalah sebesar 85.2326 MW sementara *constrain ramp rate* pada unit pembangkit ke-3 adalah sebesar 80 MW. Ketidak sesuaian perubahan daya dengan *constrain ramp rate* juga terjadi pada unit pembangkit ke-4 pada interval waktu antara jam 1-2, unit pembangkit ke-5 pada interval waktu 3-4, unit pembangkit ke-8 pada interval waktu antara jam2-3.

**Tabel 4. 18** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	4-5	5-6	6-7		
1	0.5668	18.225	18.8814	80	Sesuai
2	6.9597	8.6497	15.0635	80	Sesuai
3	66.2044	25.9727	16.9189	80	Sesuai
4	26.0653	47.288	5.4983	50	Sesuai
5	12.5902	51.0773	3.0262	50	Tidak Sesuai
6	15.2477	0.9016	7.5303	50	Sesuai
7	0.326	4.9154	27.0207	30	Sesuai



**Tabel 4.18** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7 (lanjutan)

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	4-5	5-6	6-7		
8	13.921	1.3033	4.7436	30	Sesuai
9	9.472	3.6398	1.0589	30	Sesuai
10	24.0888	23.0435	23.5519	30	Sesuai

Dapat dianalisa bahwa pada tabel 4.18 terdapat perubahan daya yang tidak sesuai dengan *constrain ramp rate*. Perubahan daya unit pembangkit ke-5 pada interval waktu antara jam 5-6 adalah sebesar 53.0773 MW sementara *constrain ramp rate* pada unit pembangkit ke-5 adalah sebesar 50 MW.

**Tabel 4. 19** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-7 sampai Jam ke-10

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	7-8	8-9	9-10		
1	6.3969	2.187	2.278	80	Sesuai
2	11.1542	5.9073	11.7878	80	Sesuai
3	97.0127	16.0801	41.2183	80	Tidak Sesuai
4	6.3204	53.0767	137.8485	50	Tidak Sesuai
5	1.9435	15.9689	55.8576	50	Tidak Sesuai
6	13.1972	3.0741	26.9134	50	Sesuai
7	1.8483	13.7333	11.906	30	Sesuai
8	14.4127	60.3804	66.5134	30	Tidak Sesuai
9	2.4095	18.6336	0.9961	30	Sesuai
10	12.8347	8.7621	8.1443	30	Sesuai

Dapat dianalisa bahwa pada tabel 4.19 terdapat beberapa perubahan daya yang tidak sesuai dengan *constrain ramp rate*. Perubahan daya unit pembangkit ke-3 pada interval waktu antara jam 7-8 adalah sebesar 97.0127 MW sementara *constrain ramp*

*rate* pada unit pembangkit ke-3 adalah sebesar 80 MW. Ketidak sesuaian perubahan daya dengan *constrain ramp rate* juga terjadi pada unit pembangkit ke-4 pada interval waktu antara jam 9-10, unit pembangkit ke-5 pada interval waktu 9-10, unit pembangkit ke-8 pada interval waktu antara jam 8-9, unit pembangkit ke-8 pada interval waktu antara jam 9 -10.

#### 4.4.2 Hasil Perubahan Daya pada DED

Hasil perubahan daya tiap interval waktu pada DED dapat dilihat pada tabel 4.20 - 4.22 berikut:

**Tabel 4. 20** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-1 sampai Jam ke-4

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	1-2	2-3	3-4		
1	19.9507	3.5541	14.4366	80	Sesuai
2	0.0322	9.2029	9.0349	80	Sesuai
3	1.3871	46.2171	59.9099	80	Sesuai
4	42.6355	26.0291	24.5629	50	Sesuai
5	1.9596	1.7496	11.5615	50	Sesuai
6	1.2664	21.4597	12.258	50	Sesuai
7	13.6885	28.7403	6.1753	30	Sesuai
8	1.7229	4.0231	25.376	30	Sesuai
9	20.9815	7.7919	21.3154	30	Sesuai
10	12.8097	2.7314	24.0701	30	Sesuai

Dapat dianalisa bahwa pada tabel 4.20 semua perubahan daya pada interval waktu antara jam ke-1 sampai jam ke-4 tidak ada yang melebihi nilai *ramp rate*. Dengan hasil tersebut maka perubahan daya pada interval waktu antara jam ke-1 sampai jam ke-4 telah sesuai dengan *constrain ramp rate*.



**Tabel 4. 21** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	4-5	5-6	6-7		
1	6.1939	30.3731	32.5873	80	Sesuai
2	16.0405	8.7203	18.4606	80	Sesuai
3	8.266	15.9787	52.7278	80	Sesuai
4	20.009	27.5898	37.0416	50	Sesuai
5	41.3182	7.7483	14.0341	50	Sesuai
6	10.4695	19.2721	40.8117	50	Sesuai
7	6.7625	7.3369	5.4426	30	Sesuai
8	1.709	1.1508	10.3841	30	Sesuai
9	0.7271	18.4459	11.307	30	Sesuai
10	8.5757	11.3838	7.6219	30	Sesuai

Dapat dianalisa bahwa pada tabel 4.21 semua perubahan daya pada interval waktu antara jam ke-4 sampai jam ke-7 tidak ada yang melebihi nilai *ramp rate*. Dengan hasil tersebut maka perubahan daya pada interval waktu antara jam ke-4 sampai jam ke-7 telah sesuai dengan *constrain ramp rate*.

**Tabel 4. 22** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	7-8	8-9	9-10		
1	7.831	4.7843	13.1805	80	Sesuai
2	2.5295	1.3927	2.0089	80	Sesuai
3	15.7003	60.8557	58.0812	80	Sesuai
4	24.7714	16.6681	15.9155	50	Sesuai
5	22.526	39.4516	2.1982	50	Sesuai
6	23.3126	0.9006	36.1836	50	Sesuai



**Tabel 4.22** Hasil Perubahan Daya Tiap Unit Pembangkit pada ED Konvensional Jam ke-4 sampai Jam ke-7 (lanjutan)

Unit	Perubahan daya (MW) pada jam ke-			Ramp rate (MW/Jam)	Ket
	7-8	8-9	9-10		
7	2.6647	6.9827	21.5137	30	Sesuai
8	11.1831	17.4706	6.2623	30	Sesuai
9	13.1444	18.2489	1.558	30	Sesuai
10	3.0376	27.3111	10.7565	30	Sesuai

Dapat dianalisa bahwa pada tabel 4.22 semua perubahan daya pada interval waktu antara jam ke-7 sampai jam ke-10 tidak ada yang melebihi nilai *ramp rate*. Dengan hasil tersebut maka perubahan daya pada interval waktu antara jam ke-7 sampai jam ke-10 telah sesuai dengan *constrain ramp rate*.

#### 4.5 Hasil Peramalan *Cuckoo Search Algorithm*

Setelah didapatkan hasil simulasi baik ED konvensional maupun DED maka hasil peramalan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.23 berikut:

**Tabel 4. 23** Hasil Peramalan *Cuckoo Search Algorithm* pada ED dan DED

Parameter	ED	DED
Nilai minimum (\$)	759980	767489
Nilai maksimum (\$)	768393	780598
Nilai rata-rata (\$)	763235.5	775164.3
Standar deviasi (\$)	2837.9819	4275.8722
Standar deviasi (%)	0.3718	0.5516

Dari tabel hasil peramalan ED dan DED menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* dapat dilihat bahwa nilai minimum dari 10 kali *running* pada simulasi untuk ED adalah sebesar \$759980 sementara untuk nilai maksimum yang didapat adalah

sebesar \$768393. Nilai rata-rata yang didapat dari 10 kali *running* adalah sebesar \$763235.5.

Untuk simulasi 10 kali *running* DED didapatkan nilai minimum sebesar \$767489 sementara untuk nilai maksimum yang didapat dapat adalah sebesar \$780598. Nilai rata-rata yang didapat dari 10 kali *running* adalah sebesar \$775164.3.

Dari data-data yang diperoleh tersebut dapat dianalisa bahwa total biaya pembangkitan dari DED nilainya lebih besar dari pada total biaya pembangkitan ED konvensional. Hal ini dikarenakan pada DED terdapat *constrain ramp rate*.

Dengan adanya *constrain ramp rate* akan mempengaruhi, batas pembangkitan maksimum dan minimum tiap unit pembangkit. Besarnya batas pembangkitan maksimum dan minimum tersebut nilainya sesuai dengan persamaan (3.1) dan (3.2). Berdasarkan persamaan tersebut maka dengan adanya *constrain ramp rate* jangkauan pencarian kombinasi daya pembangkitan akan semakin terbatas, sehingga menyebabkan biaya pembangkitan DED lebih mahal dari pada biaya pembangkitan ED konvensional.

Pada tabel 4.19 dapat dilihat pula besarnya standar deviasi simulasi ED konvensional adalah sebesar 2837.9819 atau sebesar 0.371% dari nilai rata-rata. Dengan nilai standar deviasi tersebut maka hasil peramalan total biaya pembangkitan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* pada ED konvensional adalah sebesar \$ 763235.5  $\pm$  2837.9819.

Sementara untuk simulasi DED mempunyai nilai standar deviasi sebesar 4275.8722 atau sebesar 0.5516% dari nilai rata-rata.

Dengan nilai standar deviasi tersebut maka hasil peramalan total biaya pembangkitan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* adalah sebesar \$ 775164.3  $\pm$  4275.8722



## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis *Dynamic Economic Dispatch* menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* maka pada Tugas Akhir ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. *Cuckoo Search Algorithm* dapat digunakan menyelesaikan permasalahan ED konvensional dan DED.
2. Dengan adanya *ramp rate*, perubahan daya pembangkitan akan berubah tidak melebihi batasan *ramp rate* yang telah ditentukan. Hal ini ditunjukkan pada hasil simulasi perubahan daya pembangkitan tiap interval waktu pada DED.
3. Total biaya pembangkitan pada DED lebih mahal dibandingkan dengan total biaya pembangkitan pada ED konvensional, disebabkan adanya pengaruh *ramp rate*. Hasil simulasi yang menunjukkan bahwa total biaya pembangkitan DED adalah sebesar \$767489 sementara pada ED konvensional adalah sebesar \$759980.
4. Hasil simulasi *Cuckoo Search Algorithm* dalam menyelesaikan ED konvensional dan DED cukup akurat dengan standar deviasi sebesar 0.371% dan 0.5516%.

### 5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan permasalahan DED dapat dilakukan dengan mempertimbangkan *constrain-constrain* yang lain.
2. Untuk penerapan perhitungan DED dapat dikembangkan dengan menggunakan metode yang lain.
3. Pembahasan *Dynamic Economic Dispatch* dapat dikembangkan menjadi pembahasan *Unit Commitment*.





*-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-*

## DAFTAR PUSTAKA

1. M. Basu, A.Chowdhury, "*Cuckoo Search Algorithm for Economic Dispatch*", Elsevier, 2013.
2. Xin-She Yang, S. Deb,"*Cuckoo Search via Lévy Flights*",IEEE 978-1-4244-5612-3/09,2009.
3. Xin-She Yang, "*Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm Second Edition*", Luniver Press, United Kingdom,2010.
4. Saadat, Hadi, "*Power System Analysis 2<sup>nd</sup> Edition*", McGrawHill,Ch.1,1999.
5. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "*Power Generation ,Operation and Control Third Edition*", John Willey & Sons Inc, America ,1996.
6. Ni Ketut A, "*Optimasi Operasi Pembangkit Sistem Tenaga Menggunakan Algoritma Genetika*",Thesis Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS Surabaya,2005.
7. Jizhong Zhu, "*Optimization of Power System Operation*", IEEE press series on Power Engineering, OPSO, John Willey & Sons Inc, America,2009
8. Jizhong Zhu, "*Two Stage Approach For Economic Power Dispatch*", IEEE, 2008.
9. X. Xia, A.M.Elaiw,"*Dynamic Economic Dispatch: A Review*",IEEE W09-0043, Vol.2 No.2.
10. Ferdiansyah, Teguh, "*DED Dengan Kurva Biaya Pembangkitan Yang Tidak Smooth*" Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS Surabaya.2012
11. Mostafa A. Elshahed, Magdy M. El marsfawy, Hussin M.Zain Eldain,"*Dynamic Economic Dispatch Constrained by Wind Power Weibull Distribution: A Here-and-Now Strategy*".IEEE. Vol:5 No:8.2011



*-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-*



## LAMPIRAN

### Scrip Program Default Cuckoo Search\_New

```
function
[bestnest,fmin]=cuckoo_search_new(n)
if nargin<1,
% Number of nests (or different solutions)
n=25;
end

% Discovery rate of alien eggs/solutions
pa=0.25;

%% Change this if you want to get better
results
N_IterTotal=1000;
%% Simple bounds of the search domain
% Lower bounds
nd=15;
Lb=-5*ones(1,nd);
% Upper bounds
Ub=5*ones(1,nd);

% Random initial solutions
for i=1:n,
nest(i,:)=Lb+(Ub-Lb).*rand(size(Lb));
end

% Get the current best
fitness=10^10*ones(n,1);
[fmin,bestnest,nest,fitness]=get_best_nest(
nest,nest,fitness);

N_iter=0;
%% Starting iterations
for iter=1:N_IterTotal,
```

```

    % Generate new solutions (but keep the
    current best)

new_nest=get_cuckoos (nest,bestnest,Lb,Ub) ;

[fnew,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest
,new_nest,fitness);
    % Update the counter
    N_iter=N_iter+n;
    % Discovery and randomization
    new_nest=empty_nests (nest,Lb,Ub,pa) ;

    % Evaluate this set of solutions

[fnew,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest
,new_nest,fitness);
    % Update the counter again
    N_iter=N_iter+n;
    % Find the best objective so far
    if fnew<fmin,
        fmin=fnew;
        bestnest=best;
    end
end %% End of iterations

%% Post-optimization processing
%% Display all the nests
disp(strcat('Total number of
iterations=',num2str(N_iter)));
fmin
bestnest

%% ----- All subfunctions are
list below -----
%% Get cuckoos by random walk
function nest=get_cuckoos (nest,best,Lb,Ub)
% Levy flights
n=size(nest,1);
% Levy exponent and coefficient

```

```

% For details, see equation (2.21), Page 16
% (chapter 2) of the book
% X. S. Yang, Nature-Inspired Metaheuristic
% Algorithms, 2nd Edition, Luniver Press,
% (2010).
beta=3/2;
sigma=(gamma(1+beta)*sin(pi*beta/2)/(gamma(
(1+beta)/2)*beta*2^((beta-1)/2)))^(1/beta);

for j=1:n,
    s=nest(j,:);
    % This is a simple way of implementing
    % Levy flights
    % For standard random walks, use
    step=1;
    % Levy flights by Mantegna's algorithm
    u=randn(size(s))*sigma;
    v=randn(size(s));
    step=u./abs(v).^(1/beta);

    % In the next equation, the difference
    % factor (s-best) means that
    % when the solution is the best
    % solution, it remains unchanged.
    stepsize=0.01*step.*(s-best);
    % Here the factor 0.01 comes from the
    % fact that L/100 should be the typical
    % step size of walks/flights where L is
    % the typical lengthscale;
    % otherwise, Levy flights may become
    % too aggressive/efficient,
    % which makes new solutions (even) jump
    % out side of the design domain
    % (and thus wasting evaluations).
    % Now the actual random walks or
    % flights
    s=s+stepsize.*randn(size(s));
    % Apply simple bounds/limits
    nest(j,:)=simplebounds(s,Lb,Ub);

```



```
    nest
end
```

```
% Find the current best nest
function
[fmin,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest
,newnest,fitness)
% Evaluating all new solutions
for j=1:size(nest,1),
    fnew=fobj(newnest(j,:));
    if fnew<=fitness(j),
        fitness(j)=fnew;
        nest(j,:)=newnest(j,:);
    end
end
% Find the current best
[fmin,K]=min(fitness) ;
best=nest(K,:);
```

```
% Replace some nests by constructing new
solutions/nests
function
new_nest=empty_nests(nest,Lb,Ub,pa)
% A fraction of worse nests are discovered
with a probability pa
n=size(nest,1);
% Discovered or not -- a status vector
K=rand(size(nest))>pa;

% In the real world, if a cuckoo's egg is
very similar to a host's eggs, then
% this cuckoo's egg is less likely to be
discovered, thus the fitness should
% be related to the difference in
solutions. Therefore, it is a good idea
% to do a random walk in a biased way with
some random step sizes.
%% New solution by biased/selective random
walks
```

```

stepsize=rand*(nest(randperm(n),:)-
nest(randperm(n),:));
new_nest=nest+stepsize.*K;
for j=1:size(new_nest,1)
    s=new_nest(j,:);
    new_nest(j,:)=simplebounds(s,Lb,Ub);
end

```

*% Application of simple constraints*

```
function s=simplebounds(s,Lb,Ub)
```

*% Apply the lower bound*

```
ns_tmp=s;
```

```
I=ns_tmp<Lb;
```

```
ns_tmp(I)=Lb(I);
```

*% Apply the upper bounds*

```
J=ns_tmp>Ub;
```

```
ns_tmp(J)=Ub(J);
```

*% Update this new move*

```
s=ns_tmp;
```

*% You can replace the following by your own functions*

*% A d-dimensional objective function*

```
function z=fobj(u)
```

*% d-dimensional sphere function sum\_j=1^d (u\_j-1)^2.*

*% with a minimum at (1,1, ..., 1);*

```
z=sum((u-1).^2);
```

### Sampel Data Hasil Validasi Program

Sampel	Daya Pembangkit (MW)			Biaya (\$)
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	
1	393.4078	333.9915	122.6007	81944
2	392.4934	334.9333	122.5734	81944
3	388.9541	338.9951	122.0508	81944
4	396.6266	332.0549	121.3185	81944
5	392.069	336.5948	121.3363	81944
6	392.0686	331.7288	126.2026	81944
7	391.7501	335.2829	122.9669	81944
8	397.3777	332.0912	120.5310	81944
9	395.8681	328.3688	125.7632	81944
10	392.8087	333.6697	123.5215	81944
<b>Jumlah</b>	<b>3933.4241</b>	<b>3337.711</b>	<b>1228.8649</b>	<b>819440</b>
<b>Rata- Rata</b>	<b>393.34241</b>	<b>333.7711</b>	<b>122.88649</b>	<b>81944</b>



## 5

[illegible]

## Hasil Running ke-2 (ED)

Jam ke	Beban (MW)	Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	155.5525	136.6791	123.9091	163.4094	126.9452	122.7489	116.9318	51.5438	26.4128	11.8674	60870
2	1110	151.6764	146.154	168.5691	100.0898	140.1794	140.5635	117.9861	100.5764	26.501	17.7045	63920
3	1258	159.283	138.3891	205.9959	131.1864	193.054	158.3406	102.9661	116.2727	31.0588	21.4533	70805
4	1406	156.4037	139.5966	271.5661	198.6397	182.749	141.0607	125.1228	99.9182	59.293	31.6502	78443
5	1480	165.9995	140.5362	222.0631	266.4511	234.0283	130.5485	108.3851	99.7059	62.9044	49.378	82675
6	1628	167.7076	179.201	300.225	277.8928	214.2049	144.0885	125.4642	100.7422	75.3535	43.1202	91621
7	1554	150.2546	166.7242	323.5169	242.4129	238.397	134.8995	102.2094	113.406	38.3102	43.8693	86813
8	1480	151.6745	167.239	203.473	282.9142	200.4968	128.1254	128.1553	112.0314	66.2268	39.6635	82813
9	1332	163.338	135.1687	188.4574	181.6994	162.6973	157.0215	128.6481	118.05	59.9274	36.9921	74379
10	1184	151.0359	135.9761	237.3011	103.5435	228.5512	86.6621	100.1185	82.6509	44.1706	13.99	67698
											TOTAL	760037



## 53

[illegible]



## Hasil Running ke-4 (ED)

Jam ke	Beban (MW)	Pembangkit Unit (MW)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Biaya (\$)
1	1036	151.5358	148.1724	142.1951	124.0008	156.2892	108.2473	92.7052	73.4745	24.1456	15.2342	60929
2	1110	150.2403	139.5155	117.6605	177.4303	200.9188	94.0751	111.6617	60.3944	41.0184	17.085	64078
3	1258	152.4821	144.2415	158.5815	198.707	227.9884	93.6758	110.6362	104.6751	36.0385	30.9738	70983
4	1406	159.0782	141.2288	243.8141	226.5866	163.6569	133.9431	129.3771	90.6852	65.0809	52.5491	78820
5	1480	158.5114	148.1885	310.0185	200.5213	176.2471	149.1908	129.7031	104.6062	74.5529	28.4603	82666
6	1628	176.7364	139.5388	335.9912	247.8093	227.3244	150.0924	124.7877	103.3029	70.9131	51.5038	90774
7	1554	157.855	154.6023	319.0723	253.3076	230.3506	142.5621	97.767	98.5593	71.972	27.9519	86990
8	1480	151.4581	143.4481	222.0596	259.628	228.4071	155.7593	95.9187	112.972	69.5625	40.7866	82023
9	1332	153.6451	149.3554	205.9795	206.5513	212.4382	158.8334	109.652	52.5916	50.9289	32.0245	75110
10	1184	151.3671	137.5676	247.1978	68.7028	156.5806	131.92	97.746	119.105	49.9328	23.8802	67607
											TOTAL	759980

## 55

[illegible]



## Hasil Running ke-6 (ED)

Jam ke	Beban (MW)	Pembangkit Unit (MW)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Biaya (\$)
1	1036	155.4661	147.8689	117.4654	103.2818	127.3377	136.3606	69.345	99.7248	45.5812	33.5686	61061
2	1110	167.1409	139.9631	84.2583	129.3383	239.0948	127.8995	128.7824	48.1444	24.1223	21.256	64461
3	1258	150.3326	175.7242	154.3557	184.6109	166.3186	153.9106	118.6031	84.7591	28.3691	41.0161	71883
4	1406	151.4613	172.0961	190.9902	207.557	219.8952	133.0582	122.519	109.0475	48.1633	51.2123	78769
5	1480	179.5438	145.7514	291.5723	215.6925	235.4241	143.6332	110.3445	112.9227	30.8241	14.2916	83220
6	1628	209.5452	177.5442	261.7759	254.2961	233.4083	152.1757	124.4677	103.5295	62.8504	48.4071	92887
7	1554	165.2584	187.7045	288.9977	243.376	235.4247	123.5774	120.9888	97.4994	46.2266	42.9466	87765
8	1480	161.4169	138.3662	256.7826	280.8669	212.3077	141.1443	123.2009	80.2368	55.0161	30.6616	82732
9	1332	157.7061	142.8541	232.8861	128.4268	218.6837	130.0825	116.2612	109.5803	47.6571	47.8622	74584
10	1184	157.4093	137.7901	162.2256	136.5765	160.024	148.6613	103.0308	118.4504	34.0714	25.7606	67196
											TOTAL	764558



## Hasil Running ke-7 (ED)

Jam ke	Beban (MW)	Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	150.7602	139.9646	133.8863	101.4913	142.3009	156.503	106.3212	61.5822	22.9691	20.2211	60520
2	1110	150.277	157.5094	129.1505	105.3306	242.0347	104.2398	57.2818	95.4218	32.5176	36.2369	64593
3	1258	166.2002	160.9774	153.0419	206.5765	212.3285	84.4414	93.808	114.5247	38.7113	27.3901	72221
4	1406	159.9715	168.7848	267.7155	227.4375	201.6261	140.4774	81.2421	80.6989	44.0129	36.0333	80174
5	1480	175.2832	157.9547	123.9784	289.419	219.8071	158.9023	128.5152	114.3841	71.9303	39.8257	83227
6	1628	206.7727	140.127	316.3531	279.7186	242.7678	152.6295	86.7623	116.5576	51.1581	35.1533	92365
7	1554	174.559	171.5772	295.4026	234.2235	231.5741	149.9558	116.379	104.8198	60.4679	15.041	87559
8	1480	150.226	157.7754	249.762	264.9881	206.2955	155.3054	119.4392	113.5001	44.9831	17.7252	82352
9	1332	161.4919	138.9641	167.2164	200.3682	206.0599	150.4718	95.3623	113.9952	44.0038	54.0664	74643
10	1184	151.1379	145.8012	113.8717	172.7249	218.1789	94.3467	96.3432	77.8733	72.1172	41.6052	67873
											TOTAL	765527

## Hasil Running ke-8 (ED)

Jam ke	Beban (MW)	Pembangkit Unit (MW)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Biaya (\$)
1	1036	151.163	136.8174	128.5173	92.4319	149.302	135.9161	128.7197	58.6153	31.2436	23.2736	60339
2	1110	155.7703	135.2204	222.7482	90.9586	142.578	67.6096	126.8097	90.3323	52.4331	25.5399	64409
3	1258	157.8055	156.894	143.5061	235.0116	201.1873	104.0694	88.8265	96.3718	46.6891	27.6388	72042
4	1406	162.0291	174.4254	243.7104	123.8419	203.4722	150.3548	111.616	112.4171	75.9276	48.2055	79480
5	1480	155.3434	183.9709	250.0036	245.8756	237.9157	131.867	110.8468	92.7348	47.5983	23.8439	83570
6	1628	169.7067	173.1286	323.7442	290.2044	220.2904	119.0698	101.0141	118.8053	64.6068	47.4297	91960
7	1554	159.7723	169.4389	287.9571	235.1896	241.98	149.3465	103.6952	103.8262	56.2174	46.5768	86918
8	1480	166.3615	136.437	317.8303	238.4353	199.1888	129.6408	97.0144	116.8477	41.9023	36.342	83001
9	1332	151.2819	137.1834	184.3333	234.508	229.9434	130.4723	82.2736	83.4065	65.9765	32.6212	74871
10	1184	161.5544	147.7325	203.4514	65.6182	174.652	153.2426	96.3092	114.7607	44.5574	22.1215	67941
											TOTAL	764531



## 59

[illegible]



## Hasil Running ke-10 (ED)

Jam ke	Beban (MW)	Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	152.6321	143.7045	121.9633	114.0565	155.8476	106.9732	109.6827	62.2588	44.035	24.8464	60782
2	1110	156.0156	139.9868	94.612	186.9494	239.5977	87.6451	108.5959	49.1497	33.2409	14.2071	64478
3	1258	160.8314	138.0507	189.4594	159.9457	210.7828	95.5928	111.9713	93.2074	67.3589	30.7996	71290
4	1406	157.9327	135.7374	170.1891	279.876	240.625	140.8205	91.9354	102.0241	67.1981	19.6619	78672
5	1480	165.1331	149.9564	276.5245	256.0775	210.341	141.9548	116.7799	102.6129	32.5226	28.0973	82951
6	1628	210.5288	170.1433	291.1151	247.0048	223.5055	159.9521	129.3912	89.3641	60.761	46.2341	92910
7	1554	165.4391	158.2585	265.9693	293.2019	198.9362	151.8976	127.4083	114.7861	45.369	32.734	86847
8	1480	155.8674	158.7929	209.8593	244.2147	238.179	142.8766	126.2726	104.832	46.2922	52.8134	82272
9	1332	158.0422	153.2857	231.9198	153.2659	189.183	141.9433	129.2159	93.1728	34.8672	47.1042	74966
10	1184	151.4325	139.1907	106.0674	185.7246	208.289	98.4555	97.5458	103.3845	53.4215	40.4886	67397
											TOTAL	762565

## Hasil Running ke-1 (DED)

Ramp Rate		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Jam ke	Beban (M W)	80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	177.0316	136.6203	206.98	114.9811	143.3121	86.5474	59.9265	75.6123	22.4197	12.5691	62306
2	1110	157.0809	136.6525	208.3671	157.6166	145.2717	85.281	73.615	77.3352	43.4012	25.3788	64822
3	1258	160.635	145.8554	254.5842	183.6457	143.5221	106.7407	102.3553	81.3583	51.1931	28.1102	72213
4	1406	175.0716	136.8205	314.4941	208.2086	155.0836	118.9987	108.5306	106.7343	29.8777	52.1803	79908
5	1480	168.8777	152.861	306.2281	228.2176	196.4018	129.4682	115.2931	108.4433	30.6048	43.6046	83341
6	1628	199.2508	161.5813	322.2068	255.8074	204.1501	148.7403	122.63	109.5941	49.0507	54.9884	92376
7	1554	166.6635	143.1207	269.479	292.849	218.1842	107.9286	128.0726	119.9782	60.3577	47.3665	86672
8	1480	158.8325	140.5912	253.7787	268.0776	195.6582	131.2412	125.4079	108.7951	47.2133	50.4041	82403
9	1332	163.6168	139.1985	192.923	251.4095	156.2066	130.3406	118.4252	91.3245	65.4622	23.093	75411
10	1184	150.4363	141.2074	134.8418	235.494	154.0084	94.157	96.9115	97.5868	67.0202	12.3365	68037
											TOTAL	767489



## Hasil Running ke-2 (DED)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban (M W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	183.6841	142.3659	84.9711	183.3115	125.9242	83.4334	114.4826	63.8076	40.2251	13.7945	62453
2	1110	155.1768	143.7924	106.6791	220.707	131.9439	131.3512	114.5183	41.95	51.9147	11.9666	64822
3	1258	166.9546	158.0335	108.9373	233.3207	176.1098	154.1391	104.5907	60.1456	75.2324	20.5363	72639
4	1406	164.8882	160.0151	148.2716	281.3339	225.557	139.8688	91.5697	86.4007	73.1107	34.984	79864
5	1480	160.7984	162.5732	226.2707	292.1429	218.2789	136.7847	74.5667	100.3013	77.4016	30.8815	83768
6	1628	187.8882	209.9909	265.856	266.4044	215.0829	151.0995	97.751	105.5633	76.4532	51.9107	93560
7	1554	168.1481	145.4159	280.1335	281.3673	203.0321	139.6918	117.9008	113.5837	76.7809	27.9458	86839
8	1480	159.6109	174.2695	215.2945	241.0046	224.7176	119.1531	115.7856	110.6958	79.444	40.0244	83232
9	1332	164.3167	136.7795	152.9766	278.3311	225.9444	91.6755	111.8949	98.6501	61.3362	10.095	75513
10	1184	157.6645	142.8443	154.7226	229.5098	202.177	76.6685	90.3179	69.7306	47.6405	12.7243	68484
											TOTAL	771174



## 63

[illegible]

## Hasil Running ke-4 (DED)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban ( M W )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	186.7343	157.0773	120.5832	114.6864	107.7612	117.8997	110.6719	60.3159	48.1523	12.1177	62907
2	1110	152.1042	165.3222	140.1611	117.7551	150.7232	72.5753	120.8203	87.9264	70.2608	32.3514	64982
3	1258	159.7535	199.9191	157.963	108.0488	194.9955	112.9103	124.4841	114.6791	60.9691	24.2776	72901
4	1406	191.0128	202.7465	231.8449	130.9422	230.5202	84.0883	116.4016	119.5077	61.0025	37.9331	81831
5	1480	191.5667	208.032	240.2454	128.3655	233.3959	121.8626	124.7381	119.5445	79.3661	32.8833	85491
6	1628	201.0067	246.0601	293.6397	159.2058	230.8934	145.6681	124.4827	118.8121	63.4291	44.8023	95047
7	1554	213.5992	167.661	253.014	184.48	213.113	133.9901	149.4095	118.6581	72.5359	47.539	88598
8	1480	170.5392	139.7273	284.6843	204.9878	196.2686	162.9178	122.2321	96.4079	73.0392	29.1958	82698
9	1332	174.1136	137.8232	218.4183	202.7972	147.0836	153.7267	110.2201	106.3593	58.4807	22.9773	75443
10	1184	150.9772	161.2885	196.4541	158.908	129.5508	123.0199	86.3953	99.7422	49.3446	28.3194	68377
											TOTAL	778275



## Hasil Running ke-5 (DED)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban ( MW )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	199.033	141.1638	95.5378	91.1291	134.6533	137.0557	65.9928	63.2334	75.1047	33.0965	63351
2	1110	153.0527	169.1092	155.9628	129.4371	131.2124	115.7446	78.9819	92.2409	65.9618	18.2966	65305
3	1258	161.3073	182.2224	148.3064	169.1777	153.757	119.8071	103.2498	94.8467	78.9195	46.406	72940
4	1406	151.6374	205.3846	207.4804	198.8589	189.7744	133.1731	89.8333	116.2925	64.6766	48.8888	80431
5	1480	157.4003	191.8853	234.3802	247.9782	239.2603	122.0862	95.8146	111.0241	52.5253	27.6454	83900
6	1628	179.2423	223.9592	284.7963	227.5508	237.0442	146.8506	122.5254	113.5856	46.0767	46.3688	93122
7	1554	171.472	187.2961	293.2301	196.7145	224.4448	156.7805	108.6114	107.0075	63.76	44.6831	87825
8	1480	184.4995	151.2506	247.4346	187.0172	203.7896	136.7092	129.1433	115.3006	76.1021	48.7533	83246
9	1332	155.2478	158.9972	221.9694	183.2189	196.5816	98.2225	129.2303	98.7157	58.7841	31.0327	75213
10	1184	167.2661	142.1432	155.7302	177.7456	184.3295	105.0349	116.6762	69.7799	48.9146	16.3798	68237
		TOTAL										773570



## Hasil Running ke-6 (DED)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban ( M W )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	152.4059	159.7877	106.7809	193.8952	152.7098	113.5675	26.6685	53.1724	54.2356	22.7765	62287
2	1110	154.914	142.6012	137.9277	219.4623	144.0526	154.9338	29.3746	82.6519	33.2535	10.8285	65055
3	1258	169.3463	145.4178	145.1804	262.5128	176.6079	127.9279	48.7887	90.5296	63.2365	28.4522	72845
4	1406	150.8997	188.0528	174.6614	253.7977	226.5553	117.4783	77.4506	113.0721	53.1084	50.9236	80042
5	1480	157.6008	209.9066	189.9446	239.5861	241.0815	129.9285	105.9966	108.9769	48.3894	48.589	84309
6	1628	165.9491	252.489	227.6013	277.9342	242.2329	141.3278	126.8437	101.7668	38.2862	53.569	94080
7	1554	180.5368	183.0218	240.9409	296.6835	215.9967	140.971	124.7574	88.6564	51.8024	30.6332	88493
8	1480	157.1625	177.7275	217.1299	284.2594	217.214	129.435	100.4335	102.5134	73.2272	20.8976	83766
9	1332	162.5123	141.4948	195.3777	263.6891	179.397	122.3162	97.5242	82.2758	53.8619	33.5509	75695
10	1184	151.235	140.9427	162.7041	231.551	150.327	153.4857	80.2169	56.8113	42.3427	14.3837	68211
											TOTAL	774783

## Hasil Running ke-7 (DED)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban ( MW )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	150.2265	184.1152	93.8814	82.0231	136.8306	90.0422	102.605	105.7723	60.5013	30.0022	62061
2	1110	177.8445	152.3236	92.6623	90.2193	175.4625	130.8371	85.8659	91.3055	72.1684	41.3109	65577
3	1258	195.3311	151.2865	172.1715	95.6507	176.2345	158.6572	78.2538	119.479	70.2032	40.7324	73122
4	1406	206.3464	176.98	251.7103	141.1522	184.1836	152.2988	74.9714	115.4103	68.998	33.9491	81958
5	1480	202.6138	165.7869	306.3382	156.652	197.0415	150.8685	96.5934	109.7495	76.9586	17.3975	85258
6	1628	228.7826	214.7925	293.735	183.5247	221.1153	139.4472	121.0185	118.1762	60.1782	47.2297	95276
7	1554	200.6513	147.9655	332.89	185.531	225.7175	119.6589	129.5993	116.0859	63.9995	31.9009	88116
8	1480	177.3705	136.3266	301.4597	221.7927	203.2932	132.7869	118.3284	110.989	46.2792	31.3738	83033
9	1332	158.1185	158.093	259.5519	211.871	154.2715	99.8371	105.8237	116.4626	29.4817	38.4889	75830
10	1184	158.8652	146.7503	214.3572	177.1678	123.9496	83.0668	109.312	94.8164	35.4756	40.239	68456
		TOTAL										778687



## Hasil Running ke-8 (Dengan Ramp Rate)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban (M W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	184.3847	150.2321	168.6507	98.0014	79.0373	138.334	87.6809	69.0907	30.8466	29.7415	62846
2	1110	153.9934	143.3818	240.7702	71.3302	103.7052	145.9056	63.6084	91.4133	46.6888	49.2031	65141
3	1258	186.03	154.1233	224.7222	108.1267	149.273	131.3471	72.8818	114.1035	65.9988	51.3935	73282
4	1406	195.7408	196.9555	243.5493	155.0926	187.5269	153.3244	65.6843	108.2507	52.7576	47.1178	82220
5	1480	208.365	155.6921	267.6691	190.2143	226.2084	154.8337	90.3676	93.214	55.9046	37.5313	84973
6	1628	214.4774	199.5272	286.2794	202.6912	236.3734	159.6958	117.1556	101.9014	68.3442	41.5544	93896
7	1554	181.4423	187.8397	232.1036	228.4315	232.5358	157.203	128.7212	95.5918	67.2706	42.8605	87948
8	1480	154.3106	190.2706	259.397	230.1227	228.536	131.4093	100.2092	101.1611	56.8337	27.7497	83781
9	1332	173.2406	155.4665	202.5961	182.5372	210.542	152.4195	74.4509	110.8863	38.1632	31.6978	75762
10	1184	152.4946	149.4804	195.6061	187.8076	173.6381	129.446	78.6247	81.4642	22.5754	12.8627	68164
											TOTAL	778013



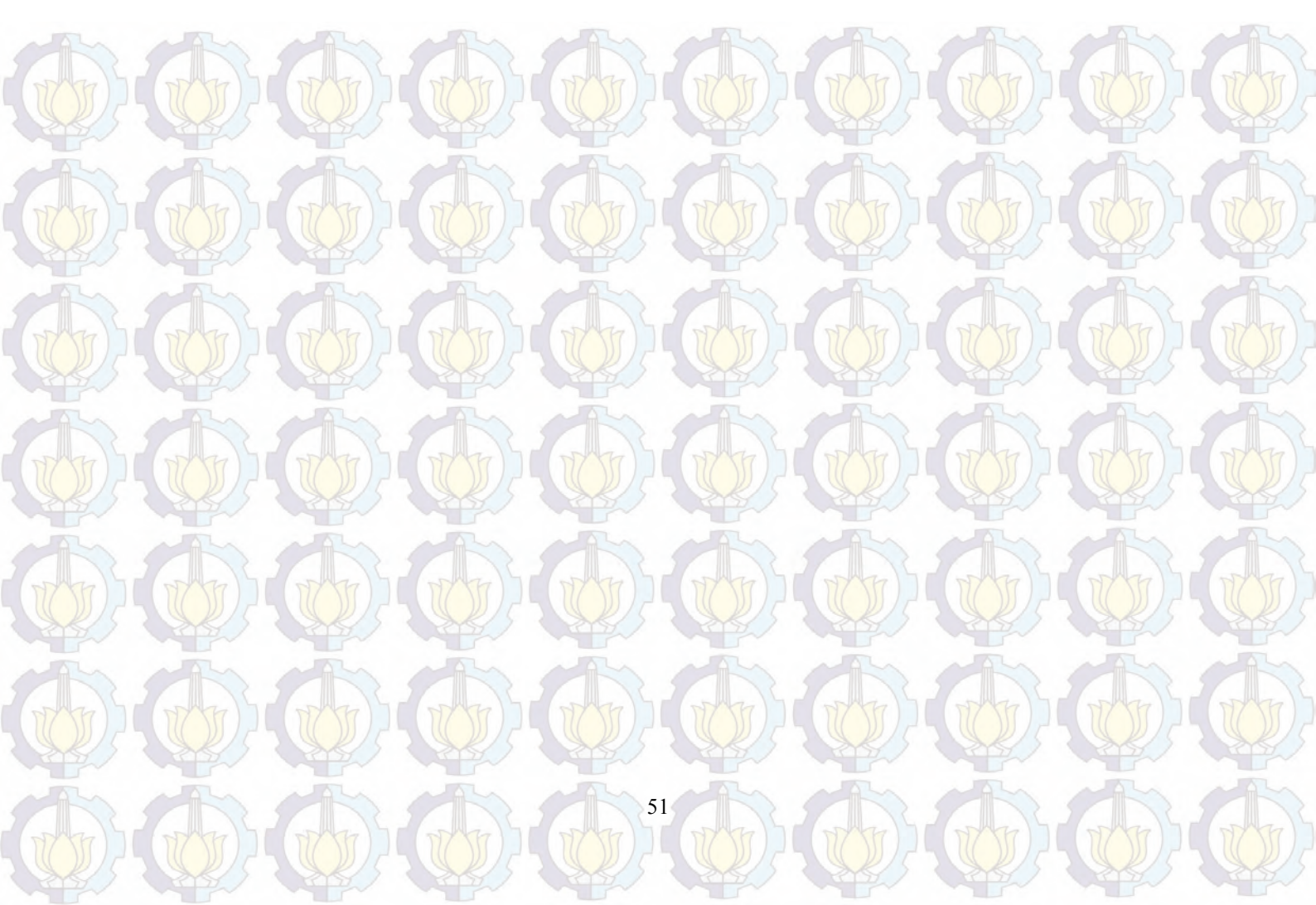
## Hasil Running ke-9 (DED)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban ( MW )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	157.1505	181.1358	219.023	73.076	136.4657	142.283	21.981	54.0232	24.7464	26.1153	63373
2	1110	167.48	143.6075	242.3213	105.4639	118.9488	150.1554	49.6364	56.6347	39.2162	36.5358	65872
3	1258	171.0432	168.4281	298.1549	110.7234	161.8823	145.3774	59.15	61.8978	27.1014	54.2415	74025
4	1406	190.9083	202.9823	267.7205	148.7022	179.4945	152.9554	81.2302	85.7495	56.9784	39.2788	82454
5	1480	169.652	186.2905	270.2717	195.8732	211.4535	120.787	105.4164	113.6347	56.2388	50.3822	84132
6	1628	186.881	226.9861	302.9393	198.4583	233.4383	159.3678	105.8091	115.3373	57.2623	41.5205	93715
7	1554	166.1331	183.6696	309.9644	199.4095	210.2582	129.0541	116.1789	117.7256	79.7443	41.8624	87740
8	1480	153.872	182.511	255.3229	190.5018	213.9377	143.4987	108.8977	110.9213	67.8774	52.6594	83181
9	1332	154.1473	152.3295	279.4196	150.2376	201.8569	100.6029	104.5111	99.8708	56.2959	32.7284	75428
10	1184	169.2425	137.9257	213.5412	116.1138	173.7073	128.542	100.092	81.2584	44.1392	19.4379	68249
		TOTAL										778169

## Hasil Running ke-10 (DED)

		Pembangkit Unit (MW)										Biaya (\$)
Ramp Rate		80	80	80	50	50	50	30	30	30	30	
Jam ke	Beban (M W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1036	159.562	136.5242	119.0756	216.1332	166.6113	77.3581	28.5441	47.8453	68.6821	15.6643	62249
2	1110	161.0574	141.5751	159.8052	208.8713	191.2803	97.6637	34.8577	55.3931	43.6363	15.8599	65491
3	1258	158.7473	172.7187	211.9667	180.031	229.1488	132.9675	45.765	58.6305	49.9804	18.0439	73065
4	1406	166.377	179.1817	154.4965	224.151	231.8035	123.3271	120.5134	117.5028	74.6953	13.9517	79681
5	1480	165.6867	170.2358	218.4817	238.006	207.1743	136.7009	125.0694	115.7167	76.6985	26.2301	83121
6	1628	159.8713	235.9265	267.176	261.618	227.6205	145.4499	125.5438	110.0403	77.1262	17.6275	93147
7	1554	170.6797	163.4031	270.3589	269.2054	238.4894	126.4892	97.3898	111.0737	71.4492	35.4617	87455
8	1480	171.7352	148.2789	235.1891	267.8293	218.9583	126.01	123.1637	96.6789	52.8724	39.2843	83091
9	1332	151.7751	137.6452	255.4387	221.7822	214.3957	88.1813	107.002	72.8227	56.6954	26.2617	75263
10	1184	154.1448	143.7565	193.1974	209.367	169.463	99.1993	110.2293	50.4853	41.6067	12.5506	68324
											TOTAL	770887





## Hasil Seluruh Running

Running Ke	Total Biaya Pembangkitan (\$)	
	ED	DED
1	767489	760180
2	771174	760037
3	780596	768393
4	778275	759980
5	773570	761477
6	774783	764558
7	778687	765527
8	778013	764531
9	778169	765107
10	770887	762565





***-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-***

## BIOGRAFI PENULIS



**Ahmad Qodri Nugroho**, lahir di Tegal pada tanggal 1 April 1992. Penulis adalah anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Somari (Alm.) dan Ibu Eko Bayuwati. Penulis memulai jenjang pendidikan di SDN Slawi Kulon 04 dan lulus pada tahun 2004, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP N 1 Slawi dan lulus pada tahun 2007. Setelah lulus dari SMP penulis melanjutkan pendidikan di SMA N 1 Slawi dan lulus pada tahun 2010. Setelah lulus SMA penulis melanjutkan ke jenjang Diploma III yaitu di Politeknik Negeri Semarang dan lulus pada tahun 2013. Setelah lulus dari Politeknik penulis melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Elektro Lintas Jalur, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [qqodri@gmail.com](mailto:qqodri@gmail.com)





***-Halaman Ini sengaja Dikosongkan-***